Aus der Orthopädischen Klinik der Universität
Düsseldorf
Direktor: Prof. Dr. K. P. Schulitz

BIOMECHANISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR FESTIGKEIT DER DURCH KNOCHENZEMENT STABILISIERTEN HALSWIRBELSÄULE

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Michael Kresmann
Matthias Trinks

1983

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535714_0034

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen
Fakultät der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizin. Fakultät
der Universität Düsseldorf
gez.: PROF. DR. BRÜSTER

Referent
gez.: PRIV.-DOZ. DR.
WINKELMANN
Korreferent
gez: PROF. DR. MÜLLER

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit gewidmet

Michael Kresmann

Gewidmet meinen Eltern und meiner Frau

Matthias Trinks

INHALT

I.	Einleitung und Fragestellung	1
II.	Anatomie und Physiologie der Halswirbelsäule	2
1.	Morphologie	2
2.	Biomechanik der Bewegungssegmente	6
3.	Das hypermobile und instabile Bewegungssegment	8
III.	Material und Methode	11
1.	Vorbemerkungen	11
2.	Untersuchungsgut	12
3.	Untersuchungsmethode	12
IV.	Biomechanische Untersuchungen nach Bandscheiben- und Wirbelkörperausräumungen	17
1.	Untersuchungsergebnisse	17
V.	Biomechanische Untersuchungen an der instabilen Halswirbelsäule	56
1.	Untersuchungsergebnisse	56
VI.	Diskussion	89
VII.	Zusammenfassung	95
VIII.	Literaturverzeichnis	97

I. Einleitung

Knochenzement wird seit bereits mehr als zwei Jahrzehnten zur Stabilisierung im Bereich der Wirbelsäule verwendet, vorwiegend bei metastatischen Wirbelsäulenprozessen in Form dorsaler Überbrückungen oder Wirbelkörperersatz (5,7, 8,10,16,20,21,23,25,27,29,30), weniger bei Instabilitäten nach Verletzungen sowie für die interkorporale Fusion bei degenerativen Wirbelsäulenveränderungen (13,14,15,20,21,25,30, 31).

Im Gegensatz zu zahlreichen Arbeiten über Anwendung und Technik der Wirbelsäulenstabilisierung wurden bisher nur wenige Ergebnisse experimenteller Untersuchungen veröffentlicht, die Auskunft darüber geben, wie stabil eigentlich Knochenzement-Implantate sind (26,31,34, 35). Wir haben an frischen Knochen-/Bänderpräparaten von Halswirbelsäulen die verschiedenen Formen der Instabilität erzeugt und sodann nach vorderer oder hinterer Knochenzement-Stabilisierung in einer Universalprüfanlage bei unterschiedlich starker Flexion und Extension die Festigkeit der Implantate getestet.

II. Anatomie und Physiologie der Halswirbelsäule

1. Morphologie

Die menschliche Halswirbelsäule besteht aus sieben Wirbeln. Mit Ausnahme des ersten und zweiten Halswirbels sind die Wirbelkörper untereinander durch Zwischenwirbelscheiben, Disci vertebrales, verbunden. Die Wirbelkörper besitzen annähernd die Form eines Pyramidenstumpfes und nehmen von cranial nach caudal an Volumen zu. Die cranialen Deckplatten der Wirbelkörper erhalten durch seitliche, senkrechtstehende Knochenleisten, die Processus uncinati, eine sattelartige Form (TÖNDURY, 1958/1970).

Die Foramina vertebralia sind dreiseitig und werden nach dorsal von den Arcus vertebrae begrenzt, die ihrerseits in die Dornfortsätze auslaufen. Die Foramina vertebralia bilden in ihrer Gesamtheit den Spinalkanal, dessen Durchmesser von C1 nach C7 abnimmt.

Die Dornfortsätze nehmen caudalwärts an Länge zu und sind bis auf den siebenten Dornfortsatz gegabelt. Der siebente Dornfortsatz ist der längste und ausgeprägteste. Er läßt sich unter der Haut tasten und wird auch als "Vertebra prominens" bezeichnet.

Die beiden ersten Halswirbel unterscheiden sich in ihrem Aufbau von den übrigen Halswirbeln.

Der erste Halswirbel, Atlas, ist der Träger des Kopfes. Er bestizt keinen Wirbelkörper. Der zweite Halswirbel, Axis, greift mit seinem Dens, einer zapfenförmigen, cranialen Verlängerung des Wirbelkörpers, dort in den ersten Halswirbel ein, wo diesem der Wirbelkörper fehlt. Um den Dens axis dreht sich der Atlas und mit ihm der Kopf.

Die Gelenkfortsätze und ihre Gelenkflächen bestimmen die Bewegungsmöglichkeiten der Wirbelkörper gegeneinander. Die Gelenkflächen der Halswirbelkörper sind annähernd plan und um 45 Grad gegen die Horizontale von vorn oben nach hinten unten geneigt, was eine Bewegung der Halswirbelsäule in nahezu alle Richtungen erlaubt.

Die Querfortsätze, die an der Brustwirbelsäule der Stützung der Rippen dienen, verschmelzen an den Halswirbeln mit Rippenrudimenten zum Processus transversus. Durch die verbliebene Öffnung, das Foramen transversarium, zieht vom sechsten Halswirbel an die Arteria vertebralis zum Gehirn.

Der Zusammenhalt der einzelnen Wirbelkörper wird in erster Linie durch den Bandapparat gewährleistet. Dieser setzt sich im einzelnen zusammen aus:

Ligamentum longitudinale anterius et posterius:

Diese beiden Bänder verbinden die Wirbelkörper vorn und hinten über die Länge der gesamten Wirbelsäule hinweg. Das vordere, breitere Längsband verbindet überwiegend die Wirbelkörper miteinander, während das hintere, schmalere Längsband sich fest mit den Zwischenwirbelscheiben verbindet (FICK, 1904; BENNINGHOFF-GOERTTLER, 1968). Das hintere Längsband enthält mehr elastische Fasern als alle übrigen dorsalen Bandelemente (EXNER, 1954).

Ligamentum flavum:

Die gelbfarbenen, elastischen Fasern verbinden die Wirbelbögen benachbarter Wirbelkörper. Sie stehen unter einer starken Längsspannung und haben einen wesentlichen Anteil an der Aufrechterhaltung der Gleichgewichtsform der Wirbelsäule. Die vor der Wirbelsäule liegenden Anteile der Körpermassen trachten, die Wirbelsäule in Vorbeugung zu bringen. Die Gesmatheit der elastischen Bänder unterstützt also die lange Rückenmuskulatur durch ihre starke Eigenspannung auf energiesparende Weise.

Ligamentum interspinale:

Die Ligamenta interspinalis bestehen aus kollagenen, undehnbaren Fasern und verbinden die Dornfortsätze zweier Wirbel. An der Halswirbelsäule bilden die Ligamenta interspinalia eine dünne Membran, das Ligamentum nuchae. Es setzt

sich aus teils elastischen, teils kollagenen Fasern zusammen. Das Ligamentum nuchae erstreckt sich von der Protuberantia occipitalis externa bis zum Dornfortsatz des siebenten Halswirbels und strahlt median in die Muskulatur des Nackens ein.

Eine besondere Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Eigenform der Wirbelsäule kommt den Zwischenwirbelscheiben, Disci intervertebrales, zu. Sie sind leicht keilförmig ausgebildet und tragen in dieser Weise zur physiologischen Krümmung der Wirbelsäule bei, im Bereich der Halswirbelsäule der Lordose. Die Zwischenwirbelscheiben gehen kontinuierlich in den Knorpelbelag der Wirbelkörper über und bilden so eine synchondrotische Verbindung. Die hyalinknorpeligen Deckplatten der Zwischenwirbelscheiben stellen gleichzeitig die Wachstumsfugen der einzelnen Wirbelkörper dar.

Die einzelne Bandscheibe besteht aus dem Gallertkern, Nucleus pulposus, und dem ihn umgebenden Faserring, Anulus fibrosus. Die äußere Circumferenz des Wirbelkörpers, welche von der sogenannten Bandleiste gebildet wird, ist durch derbe Bindegewebszüge, die SHARPEY-schen Fasern, fest mit dem Anulus fibrosus der Bandscheibe verankert (EXNER, 1954). Die Bandscheiben haben großen Anteil an der Beweglichkeit der Wirbelsäule und werden daher auch als Halbgelenke bezeichnet (LUSCHKA). Durch den Innendruck der einzelnen Bandscheiben

werden die Wirbelkörper in einem weitgehend konstanten Abstand zueinander gehalten. Gleichzeitig werden die SHARPEY'schen Fasern des Randleistenfaserringes gespannt und so beugende, abscherende und drehende Kräfte abgefangen, die auf die Wirbelsäule einwirken.

2. Biomechanik der Bewegungssegmente

Unter dem "Bewegungssegment" versteht JUNGHANNS (1951) die Bau- und Funktionseinheit der Wirbelsäule. Es setzt sich zusammen aus der oberen bzw. unteren Hälfte zweier benachbarter Wirbelkörper, einschließlich der Deckplatten und Randleisten, sowie den Wirbelbögen mit ihren Gelenken und der jeweiligen Bandscheibe. Hinzu kommen sämtliche Bandverbindungen, Muskeln, Nerven und Gefäße.

Durch die verschiedenen elastischen Elemente besitzt die aus dem Körper herausgelöste Wirbelsäule eine charakteristische Eigenform. Die physiologischen Krümmungen der Wirbelsäule werden durch die statischen, körpermassenbedingten Belastungen verstärkt.
Die Halswirbelsäule weist normalerweise eine Krümmung nach vorn auf, die Halslordose. Die Belastung der Wirbelsäule erfolgt hier überwiegend durch das Gewicht des Kopfes - durchschnittlich vier Kilogramm (FICK) - und den Tonus der Hals- und Nackenmuskulatur. Die

Druckbelastung der Halswirbelsäule ist in erster Linie eine direkte. Die Last ruht vom Atlas an bis zum 5. Halswirbel häuptsächlich auf den Intervertebralgelenken (EXNER, 1954).

Die Halswirbelsäule bildet den beweglichsten Abschnitt der gesamten Wirbelsäule mit den Möglichkeiten der sagittalen Flexion und Extension, Seitwärtsneigung sowie der Rotation.

Die Hauptbewegung der Halswirbelsäule, die sagittale Flexion und Extension, erfolgt durch eine aus mehreren Einzelexkursionen zusammengesetzte Gesamtbeugung bzw. -streckung. Der Winkel zwischen maximaler Beugung und Streckung beträgt im Durchschnitt 95 Grad (H.VIRCHOW, BAKKE, EXNER). Bei Beugung und Streckung verschieben sind die Wirbelkörper gegeneinander, die Vorder- und Hinterkanten stehen dabei treppenförmig übereinander und bilden auf diese Weise eine physiologische Subluxationsstellung; im Röntgenbild beträgt die aus der Kantenverschiebung resultierende Differenz einen bis drei Millimeter. Die Gelenkflächen der Gelenkfortsätze decken sich bei maximaler Extension vollständig, gleiten bei maximaler Flexion jedoch aneinander vorbei und decken sich nur nur noch etwa zur Hälfte. Die sagittalflexorischen Exkursionen erreichen im Atlantooccipitalgelenk ihren größten Umfang und betragen nach R.FICK etwa 20 Grad bei Flexion und 30 Grad bei Extension, gefolgt von der Synchondrosis C5/C6 mit 20,4 Grad und der Syn-

chondrosis C6/C7 mit 17 Grad bei Extension (BAKKE). Die Rotationsbewegung der Halswirbelsäule umfaßt etwa 60 Grad und erfolgt fast ausschließlich im unteren Kopfgelenk, also zwischen Atlas und Axis, die Lateralflexion ist nach jeder Seite um etwa 26 Grad möglich (BAKKE).

3. Das hypermobile und instabile Bewegungssegment

Die instabile Halswirbelsäule ist unter physiologischen Belastungen nicht mehr in der Lage, die Beziehungen zwischen den einzelnen Wirbeln aufrechtzuerhalten und Schaden vom Rückenmark oder von den Nervenwurzeln abzuhalten (WHITE et al 1976).

Nach BAILEY (1964) sind die Hauptstrukturen, die die Halswirbelsäule stabilisieren: Die Muskulatur und die feste Verbindung der Wirbelkörper durch die Zwischenwirbelscheiben. Hierbei spielt der Anulus fibrosus eine besonders wichtige Rolle.

MUNRO (1965) ist dagegen der Meinung, daß hauptsächlich die Zwischenwirbelscheiben und das vordere und hintere Längsband die Halswirbelsäule stabilisieren.

BEDBROOK (1969) vertritt die Ansicht, daß neben den Zwischenwirbelscheiben und den beiden Längsbändern die Ligamenta flava den Hauptanteil zur Stabilisierung beitragen.

HOLDSWORTH (1963) erwähnt zusätzlich die Ligamenta supraspinosa et interspinosa.

WHITE (1976) unterscheidet an der Halswirbelsäule vordere und hintere stabilisierende Elemente. Zu den vorderen Elementen gehören: vorderes und hinteres Längsband, die Ligamenta intertransversaria sowie die Zwischenwirbelscheiben. Die hinteren Elemente sind: Ligamentum flavum, Gelenkkapsel sowie die Ligamenta interspinosa et supraspinosa. Abbildung 1 zeigt eine schematisierte Darstellung der vorderen und hinteren stabilisierenden Elemente der Halswirbelsäule nach WHITE.

A vorderes Längsband, B vordere Hälfte des Anulus fibrosis, C hintere Hälfte des Anulus fibrosus, D hinteres Längsband, E Ligamenta intertransversaria, F Gelenkkapseln, G Gelenkfacetten, H Ligamenta flava, I Ligamenta interspinosa et supraspinosa

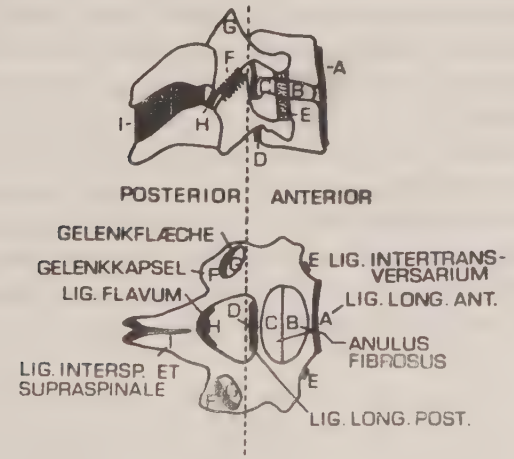

Abb. 1: Schematisierte Darstellung der vorderen und hinteren stabilisierenden Elemente nach WHITE.

Die Instabilität der Halswirbelsäule wird in der Literatur in unterschiedlicher Weise definiert.

BEATSON (1963) bezeichnet die Bewegungssegmente als instabil, deren Gelenke auf beiden Seiten dislozíert sind. Er konnte nachweisen, daß für eine beidseitige Dislokation die Ruptur des Ligamentum interspinosum, des hinteren Längsbandes, beider Gelenkkapseln und des Anulus fibrosus notwendig ist.

WHITE (1976) konnte an 17 Halswirbelsäulen den Nachweis erbringen, daß ein Bewegungssegment instabil wird, sobald alle vorderen Stabilisierungselemente und mindestens ein hinteres zerstört ist und umgekehrt. Mit Rücksicht auf einen klinischen Sicherheitsfaktor bezeichnet WHITE alle Halswirbelsäulen als instabil, bei denen die vorderen oder hinteren Stabilisierungselemente zerstört sind bzw. ihre Funktion nicht mehr ausüben können.

Als hypermobil dürfte nach dem oben gesagten wohl dasjenige Bewegungssegment bezeichnet werden, dessen vordere oder hintere Stabilisierungselemente partiell zerstört bzw. funktionsuntüchtig sind.

III. Material und Methode

1. Vorbemerkungen

Die Grundlage der vorliegenden Arbeit bilden biomechanische Untersuchungen.
Die Biomechanik versucht, die Gesetzmäßigkeiten der menschlichen Körperbewegungen zu analysieren. Bei allen biomechanischen Untersuchungen liegt die wesentliche Problematik bis heute in der Wahl der Meßgeräte und Methode. Wir sind uns deshalb darüber im klaren, daß die von uns gewonnenen biomechanischen Messergebnisse einer mathematisch exakt geführten Untersuchung nicht standhalten, da sich der menschliche Organismus mit seiner natürlichen Schwankungsbreite nicht in naturwissenschaftlich exakte Gesetzmäßigkeiten fassen läßt. Da die Versuche nicht am Lebenden durchzuführen waren, verwendeten wir die Halswirbelsäulen frisch verstorbener Menschen für unsere Messungen. Wir haben versucht, den Unterschied zwischen in-vivo-/ in-vitro-Verhältnissen relativ gering zu halten, um eine möglichst große Aussagekraft zu erlangen. Aus diesem Grunde trafen wir folgende Maßnahmen:
1. Entnahme und Präparation des Untersuchungsgutes erfolgte wenige Stunden nach Eintritt des Todes.
2. Die Präparate wurden während der gesamten Versuchsdauer mit Ringerlösung besprüht.
Außerdem wirkte sich für die Versuche günstig aus, daß Wirbelsäulenpräparate nicht so stoffwechselaktiv wie andere Präparate sind.

2. Untersuchungsgut

Zur Verfügung standen insgesamt 16 Halswirbelsäulen, die in toto oberhalb C 1 bis einschließlich Th 2 frisch verstorbenen Unfallopfern, Selbstmördern sowie Opfern von Kapitalverbrechen beiderlei Geschlechts im Alter von 18 bis 40 Jahren im Gerichtsmedizinischen Institut der Universität Düsseldorf entnommen worden waren.

3. Untersuchungsmethode

Präparation und Befestigung der Halswirbelsäulen.
Von den Halswirbelsäulen wurde die Muskulatur unter Belassung des Ligamentum longitudinale anterius, der Ligamenta flava und des Ligamentum nuchae sowie unter Schonung der Capsulae articulares abpräpariert. Jede der 16 Halswirbelsäulen wurde jeweils am gleichen Tag präpariert, eingebettet, untersucht und geröntgt. Dabei waren wir bemüht, ein Austrocknen der Präparate zu verhindern, indem wir sie während der gesamten Versuchsdauer mit einer Ringerlösung besprühten.
Zur Befestigung wurden die Halswirbelsäulenpräparate mit dem belassenen 2. Brustwirbel in eine Kalt-Einbettmasse gestellt und so lange in annähernd physiologischer Stellung gehalten, bis die Einbettmasse ausgehärtet war (ca. 15 Minuten).

Anbringen der Zugvorrichtung und Aufbau der Versuchsapparatur

Zum Anbringen einer Zugvorrichtung wurde in einem Winkel von 90 Grad zum Dens ein Steinmann-Nagel von dorsal nach ventral durch den Dens axis geschlagen, der gleichzeitig auch den Arcus anterior des Atlas durchbohrte. An dem Nagel wurde ein Gewindestab so befestigt, daß er in einem Winkel von 90 Grad zur Ebene des Nagels nach cranial zeigte. In die am Gewindestab befindliche Öse wurden zwei Zugseile eingehängt, die so über die beweglichen Rollen zweier Zuggestänge liefen, daß die Wirbelsäule sowohl in dorsale als auch in ventrale Richtung gezogen werden konnte. Am jeweiligen Ende der Zugseile wurden Eisenscheiben von 2 bzw. 4 kg Gewicht eingehängt. Dabei waren die Zuggestänge so angeordnet, daß die Gewichte frei nach unten ziehen konnten. Abb. 2 zeigt die schematisierte Darstellung der Versuchsanordnung.

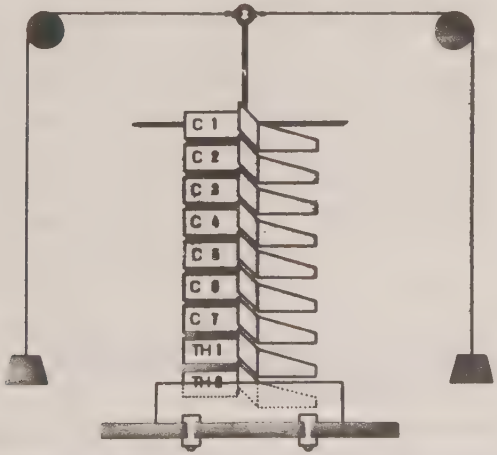

Abb. 2: Schematische Darstellung der Versuchsanordnung

Röntgen

Hinter dem Präparat wurde in einem Abstand von 25 cm ein Halterungsrahmen angebracht, in den Röntgenkassetten von beliebiger Größe eingespannt werden konnten. Auf diese Weise war es möglich, streng seitliche Röntgenaufnahmen unter standardisierten Bedingungen von den Präparaten anzufertigen. Der Abstand Fokus/Film betrug bei allen angefertigen Aufnahmen einen Meter. Die Filme wurden mit 55 kV/40 mAs belichtet. Zu Beginn wurde von dem Präparat eine Aufnahme in Normalstellung gemacht, das heißt ohne Belastung. Danach wurden die Halswirbelsäulen mit jeweils 2 und 4 kg nach dorsal bzw. ventral gebeugt. Jede Belastungsstufe wurde röntgenologisch festgehalten.
Die doppelte Fragestellung der Arbeit verlangte, daß die einzelnen Halswirbelsäulen auf unterschiedliche Weise instabilisiert, mit Gewichten zwischen einem und vier Kilogramm Dorsal- bzw. Ventralzug belastet und durch veschiedene Verfahren wieder stabilisiert wurden. Zur Stabilisierung wurden röntgenpositives Palacos sowie Draht und Metallnetze verwendet. Eine genaue Darstellung der Manipulationen an den einzelnen Präparaten erfolgt unter IV und V bei der Beschreibung und Auswertung der Einzelversuche.

Messung von Druck- und Zugebelastungen an den einzelnen Wirbelkörpern

Um auftretende Druck- und Zugbelastungen innerhalb der einzelnen Wirbelkörper bzw. Wirbelbögen während der Versuche verifizieren zu können,

wurden vier der Halswirbelsäulen auf folgende Weise vorbereitet: Auf zwei auf gleicher Höhe liegenden Stellen wurde an den Halswirbeln 4, 5, 6 und 7 das Ligamentum longitudinale anterius mit einem Skalpell und scharfem Löffel gefenstert. Die als Klebestellen vorgesehenen Bezirke wurden sodann mit Hilfe eines Raspatoriums sorgfältig freigeschabt und mit Waschbenzin von Fettauflagerungen befreit. Als Druck- bzw. Zugaufnehmer diente eine Miniatur-Kraftmeßdose, die an einen Trägerfrequenz-Meßverstärker angeschlossen wurde. Meßelemente der Kraftmeßdose sind Dehnungsmeßstreifen, die auf Druck- und Zugbeanspruchung reagieren. Die Dehnungsmeßstreifen wurden unter Verwendung eines Spezialklebstoffes auf die vorbereiteten Stellen geklebt. Außerdem erhielten die Arcus vertebrae der zugehörigen Wirbelkörper Dehnungsmeßstreifen, die wir auf in gleicher Weise vorbereiteten Stellen aufbrachten.
Je ein Dehnungsmeßstreifen wurde mit einem Lötstützpunkt verbunden, der in unmittelbarer Nähe auf das Gewebe geklebt war, ohne die Messung beeinflussen zu können. Über die Lötstützpunkte konnte eine Kabelverbindung zum Messverstärker hergestellt werden. Die verstärkten Signale stellte ein nachgeschalteter Schreiber graphisch dar.
Wie sich bei der fortlaufenden Auswertung der Untersuchungsergebnisse zeigte, waren die gewonnenen Daten nicht aussagekräftig genug, um in die Arbeit aufgenommen zu werden.
Die Empfindlichkeit der verwendeten Dehnungsmeßstreifen (Meßbereich im millionstel Millimeterbereich) erwies sich unter unseren vorgegebenen

Bedingungen (keine konstante Temperatur und Luftfeuchtigkeit) als zu hoch.
Die Störanfälligkeit ließ sich auch durch sorgfältigstes Arbeiten nicht auf ein akzeptables Maß reduzieren. Aus diesem Grunde waren wir gezwungen, nach vier Versuchen auf die Fortführung dieser Versuchsreihe zu verzichten.

IV. Biomechanische Untersuchungen nach Bandscheiben und Wirbelkörperausräumungen

1. Untersuchungsergebnisse

Für jede der folgenden vier Versuchsreihen wurden je zwei Wirbelsäulen verwendet. Unter dem Begriff "intakte Wirbelsäule" versteht sich ein Präparat, an dem keinerlei Manipulationen durchgeführt wurden.

1. Versuchsreihe 1, Wirbelsäulen 1 und 2

1.1. Biomechanische Untersuchungen an intakten Präparaten

Die Halswirbelsäulen 1 und 2 wurden nach oben aufgeführter Methode vorbereitet und auf die beschriebene Art und Weise in die Versuchsanordnung eingespannt. Die Präparate wurden mit 1, 2 und 4 kg Dorsal- und Ventralzug belastet. Sie wurden in 0-Stellung - das heißt ohne Belastung - sowie in allen Belastungsstufen streng seitlich geröntgt. Die Winkel zwischen den einzelnen Wirbeln wurden immer zwischen Ober- und Unterkante benachbarter Wirbelkörper gemessen, der Gesamtwinkel C2/C7 jedoch zwischen den Unterkanten der Wirbelkörper C2 und C7 (Abb. 3 und 4)

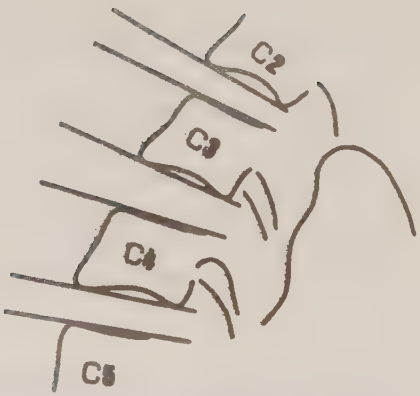

Abb. 3: Methodik der Winkelmessung benachbarter Wirbelkörper

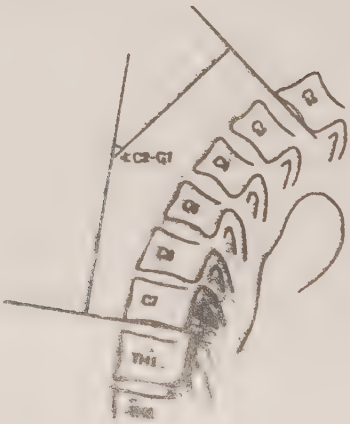

Abb. 4: Methodik der Winkelmessung des Gesamtwinkels C2/C7

Abb. 5: Halswirbelsäule 1 im Röntgenbild bei
a) 4 kg Dorsalzug b) ohne Zug in physiologischer
Stellung c) 4 kg Ventralzug

Abb. 5 b

Abb. 5 c

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Winkelmessungen an den intakten Wirbelsäulen 1 und 2

Wirbelsäule 1	Ventralzug 4kg	2kg	4kg	ohne Zug ø	Dorsalzug 1kg	2kg	4kg
Winkel C5/C6	-2°	-2°	-2°	+3°	+5°	+7°	+6°
Winkel C6/C7	-3°	-1°	-1°	+3°	+5°	+11°	+9°
Winkel C2/C7	-22°	-18°	-17°	+18°	+27°	+32°	+45°
Wirbelsäule 2							
Winkel C5/C6	-3°	-2°	-2°	+4°	+6°	+9°	+8°
Winkel C6/C7	-3°	-1°	-1°	+3°	+5°	+10°	+9°
Winkel C2/C7	-24°	-28°	-18°	+20°	+30°	+34°	+49°

Tabelle 1: Meßergebnisse an der intakten Wirbelsäule

Aus dieser Tabelle geht hervor, daß der Winkel der maximalen Beugung und Streckung bei Halswirbelsäule 1 = 67° und bei Halswirbelsäule 2 = 71° beträgt. Auffällig ist, daß bei Dorsalzug die Einzelwinkel C5/C6 und C6/C7 bei Belastung mit 4 kg kleiner sind als bei Belastung mit 2 kg, der Gesamtwinkel C2/C7 jedoch stetig größer wird.

1.2. Bandscheibenausräumung

Wir durchtrennten das Ligamentum longitudinale anterius auf dem Discus intervertebralis IV und

räumten die gesamte Bandscheibe zwischen den Wirbelkörpern C 5 und C 6 aus. Danach meißelten wir die Deckplatten dieser benachbarten Wirbelkörper ab und frästen in die Spongiosa jeweils eine etwa 5 Millimeter tiefe Mulde. Wir füllten diese Mulden sowie den gesamten Zwischenwirbelraum mit Palacos und fixierten die Halswirbelsäule so lange in physiologischer Stellung, bis die entstandene Plombe völlig ausgehärtet war. Die Wirbelsäule wurde wieder in der Haltevorrichtung befestigt und den gleichen Belastungen unterworfen wie vor der Manipulation.

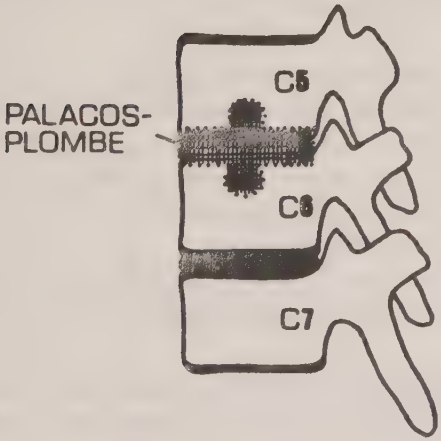

Abb. 6: Schematische Darstellung der Palacosplombe zwischen den Wirbelkörpern C5 und C6 nach Abtragung ihrer Deckplatten

Tabelle 2 gibt die Meßergebnisse wieder:

Wirbelsäule 1	Ventralzug 4kg	2kg	1kg	Dorsalzug 1kg	2kg	4kg
Winkel C4/5	-6°	-6°	-4°	+6°	+8°	+13°
Winkel C6/7	-4°	-4°	-2°	+4°	+8°	+15°
Winkel C2/C7	-19°	-19°	-14°	+22°	+27°	+35°
Wirbelsäule 2						
Winkel C4/C5	-6°	-5°	-4°	+7°	+10°	+15°
Winkel C6/C7	-4°	-4°	-2°	+5°	+9°	+17°
Winkel C2/C7	-21°	-21°	-15°	+24°	+30°	+39°

Tabelle 2: Messungen an den Wirbelsäulen 1 und 2 mit Palacosplombe

Der Winkel zwischen maximaler Beugung und Streckung betrug nun bei Wirbelsäule 1 = 54° und bei Wirbelsäule 2 = 60°. Auf den angefertigten Röntgenaufnahmen konnten wir erkennen, daß sich die Palacosplombe beim dorsalen Zug von 4 kg an C5 gelockert hatte bzw. ausgerissen war.

1.3. Teilweise Durchtrennung der hinteren Strukturen

Als weitere Manipulation an den gleichen Präparaten durchtrennten wir die Ligamenta interspinales zwischen den Processus spinosi der 5. und 6. Halswirbel sowie die Ligamenta flava in gleicher Höhe und eröffneten jeweils die zugehörigen linksseitigen Gelenk-

kapseln. Somit war ein erheblicher Teil der hinteren Bandstrukturen zerstört und wir untersuchten nun das Bewegungsverhalten dieser, mit Palacosplombe stabilisierten Wirbelsäule. Wir verzichteten dabei auf den Zug von 1 kg und 2 kg und belasteten sofort mit 4 kg nach dorsal und ventral.

Tabelle 3 enthält die Ergebnisse:

Wirbelsäule 1	Ventralzug 4kg	Dorsalzug 4kg
Winkel C4/C5	-6°	+8°
Winkel C6/C7	-2°	+9°
Winkel C2/C7	-22°	+53°
Wirbelsäule 2		
Winkel C4/C5	-6°	+10°
Winkel C6/C7	-3°	+12°
Winkel C2/C7	-26°	+60°

Tabelle 3: Winkelmessungen an den Wirbelsäulen 1 und 2 mit Palacosplombe und teilweiser Durchtrennung der hinteren Strukturen

Der maximale Beugungs-Streckungs-Winkel betrug bei Wirbelsäule 1 = 77° und bei Wirbelsäule 2 = 86°, woraus das vollständige Ausreißen der Palacosplombe an C5 ersichtlich wurde.

2. Versuchsreihe 2, Wirbelsäulen 3 und 4

2.1. Bandscheibenausräumung ohne Deckplattenentfernung

Da die intakten Wirbelsäulen 3 und 4 keine wesentlichen Winkelunterschiede zu den intakten Präparaten 1 und 2 aufwiesen, entschlossen wir uns zur sofortigen Ausräumung des Discus intervertebralis IV zwischen den Wirbelkörpern C5 und C6. Außerdem hielten wir während der gesamten Versuchsreihe an diesen beiden Präparaten die dorsale und ventrale Zugbelastung mit 2kg konstant. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Versuchen räumten wir an diesen Halswirbelsäulen zwar die Bandscheibe völlig aus, beließen jedoch gleichzeitig die Deckplatten der Wirbelkörper C5 und C6.

Tabelle 4 zeigt das Bewegungsverhalten der Präparate 3 und 4 nach Bandscheibenausräumung:

Wirbelsäule 3	Ventralzug 2kg	Dorsalzug 2kg
Winkel C4/C5	-4°	+18°
Winkel C6/C7	-3°	+15°
Winkel C2/C7	-19°	+48°
Wirbelsäule 4		
Winkel C4/C5	-3°	+16°
Winkel C6/C7	-3°	+12°
Winkel C2/C7	-19°	+43°

Tabelle 4: Meßergebnisse an den Wirbelsäulen 3 und 4 nach Bandscheibenausräumung

Der maximale Beugungs-Streckungswinkel betrug bei Wirbelsäule 3 = 67° und bei Wirbelsäule 4 = 62° An Abbildung 7 wird ein besonderes Phänomen deutlich. Bei Ventralzug 2 kg wird der Winkel C5/C6 völlig aufgehoben. Der 5.Corpus vertebrae legt sich mit seiner unteren Deckplatte wegen des Fortfalls der Bandscheibe völlig der oberen Deckplatte des Corpus vertebrae 6 zwischen den Processus uncinati an. Dabei weicht der gesamte 5. Halswirbel nach dorsal zurück, was zu einer deutlichen Subluxationsstellung der Articulationes vertebrales von C4 bis C7 führt. Es kommt also in diesem Bereich der Halswirbelsäule zu einem ventralen Knick.

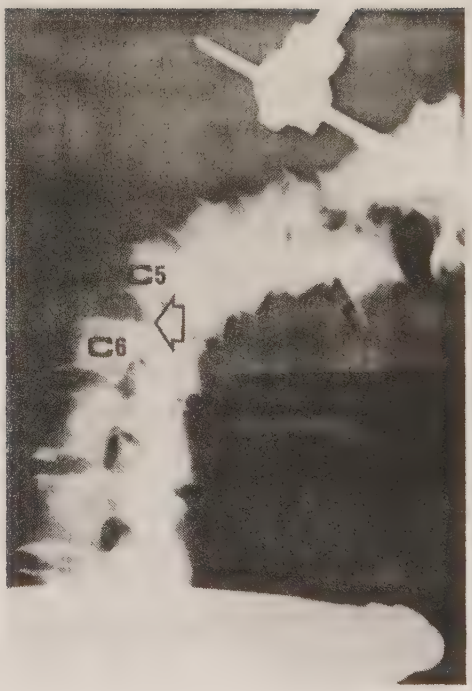

Abb.7.: zeigt die Halswirbelsäule 3 im Röntgenbild nach Ausräumung des Discus intervertebralis IV zwischen C5 und C6 unter 2 kg Dorsal- und 2 kg Ventralzug
a) das Aufklappen der HWS zwischen C5 und C6 wegen des Fortfalls der Bandscheibe und dem damit verbundenen Ligamentum longitudinale anterius wird deutlich
b) durch Fortfall der Bandscheibe stellen sich die Wirbelkörper C5 und C6 aufeinander und geraten dadurch in eine gewisse Subluxationsstellung

Abb. 7 b

2.2. Vordere Banddurchtrennung

Wir durchtrennten nun die Ligamenta intertransversaria in Höhe C5/C6 und führten den gleichen Versuch noch einmal durch.

Tabelle 5 enthält die Ergebnisse:

Wirbelsäule 3	Ventralzug 2kg	Dorsalzug 2kg
Winkel C4/C5	-5°	+20°
Winkel C6/C7	-6°	+15°
Winkel C2/C7	-19°	+52°
Wirbelsäule 4		
Winkel C4/C5	-5°	+19°
Winkel C6/C7	-5°	+14°
Winkel C2/C7	-19°	+49°

Tabelle 5: Meßergebnisse an den Wirbelsäulen 3 und 4 nach Bandscheibenausräumung und vorderer Banddurchtrennung

Der maximale Beugungs-Streckungs-Winkel betrug bei Wirbelsäule 3 = 71° und bei Wirbelsäule 4 = 68°. Abgesehen von einem weiteren Aufklappen der Halswirbelsäule zwischen C5/C6 und einer damit verbundenen, geringfügigen Erhöhung des Gesamtwinkels C2/C7 trat keine wesentliche Veränderung des Bewegungsmusters bei Dorsalzug

auf. Der Ventralzug hatte wiederum, wie zu erwarten war, o.a. Phänomen des Zurückgleitens zufolge, wobei bei leichtem Anstieg der Einzelwinkel C4/C5 und C6/C7 am Gesamtwinkel C2/C7 keine Veränderung auftrat.

2.3. Kragenknopf-Palacosplombe

Bei der nun erfolgten Stabilisierung der Halswirbelsäule mit Palacos erinnerten wir uns der unbefriedigenden Ergebnisse der ersten Versuchsreihe und standen vor der Frage, ob wir eine andere Form der Plombe, eine vordere Drahtcerclage oder beide Maßnahmen wählen sollten. Wir entschieden uns vorerst lediglich für eine Kragenknopf-Palacosplombe. Zu diesem Zweck bohrten wir mit einem Dorn je ein kleines Loch zentral in die untere Deckplatte von C5 und die obere Deckplatte von C6. Nun führten wir einen kleinen, gebogenen scharfen Löffel durch diese Löcher und gruben eine nach unten bzw. oben breiter werdende Höhle von ca. 8 mm Tiefe.

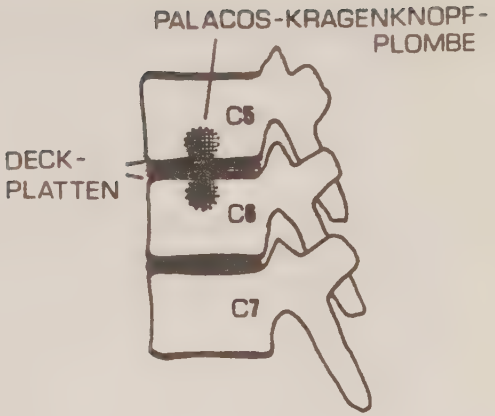

Abb. 8: Schematische Darstellung der Kragenknopf-Palacosplombe; zu beachten sind die weitgehend intakten Deckplatten von C5 und C6.

Wir füllten nun die beiden entstandenen Höhlen und den gesamten Zwischenwirbelraum mit Palacos aus und fixierten die Halswirbelsäule in physiologischer Stellung bis zur völligen Aushärtung. Das Präparat wurde in die Zugvorrichtung gespannt und ohne Belastung sowie mit je 2 kg Dorsal- und Ventralzug geröntgt und vermessen. Tabelle 6 zeigt die Versuchsergebnisse:

Wirbelsäule 3	Ventralzug 2kg	ohne Belastung	Dorsalzug 2kg
Winkel C4/C5	-8°	+11°	+15°
Winkel C5/C6	-2°	+3°	+5°
Winkel C6/C7	-4°	+8°	+16°
Winkel C2/C7	-18°	+20°	+32°
Wirbelsäule 4			
Winkel C4/C5	-8°	+10°	+13°
Winkel C5/C6	-3°	+3°	+4°
Winkel C6/C7	-3°	+6°	+15°
Winkel C2/C7	-18°	+19°	+29°

Tabelle 6: Meßergebnisse an den Wirbelsäulen 3 und 4 mit Kragenknopf-Palacosplombe

Der maximale Beugungs-Streckungs-Winkel betrug bei Wirbelsäule 3 = 50° und bei Wirbelsäule 4 = 47°. Der Ventralzug zeigt, daß sich oben beschriebene Subluxationsstellung des 5. Wirbels auch durch die Palacosplombe nur geringfügig beseitigen ließ. Ein Lockern oder gar Abreißen der beiden Kragenknöpfe konnte anhand der Röntgenaufnahmen nicht ausgeschlossen werden. Der Vergleich der maximalen Beugungs-Streckungs-Winkel vor und nach Stabilisierung durch die Palacos-Plombe zeigt eine deutliche Bewegungseinschränkung der Halswirbelsäule durch die Maßnahme

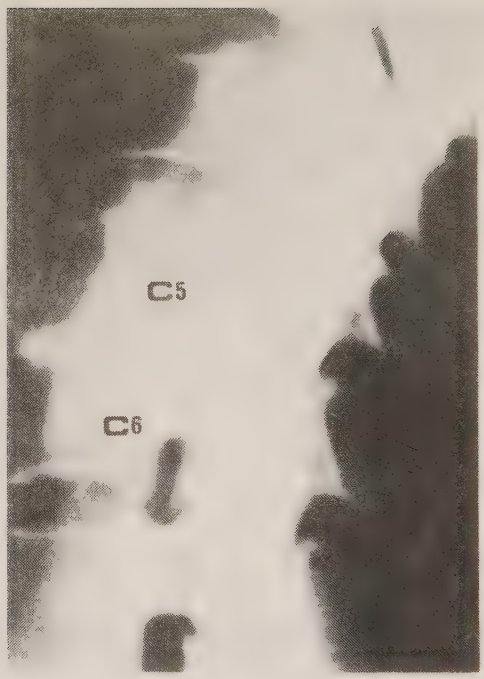

Abb. 9: Kragenknopf-Palacosplombe (röntgenpositives Palacos) bei Wirbelsäule 3 a) ohne Belastung b) mit 2 kg Dorsalzug c) mit 2 kg Ventralzug

Abb. 9 b

Abb. 9 c

3. Versuchsreihe 3, Wirbelsäulen 5 und 6

3.1. Kragenknopf-Palacosplombe und vordere Drahtcerclage

Bei den Wirbelsäulen 5 und 6 ging es uns in erster Linie um die zusätzliche Stabilisierung der Kragenknopf-Palacosplombe durch eine vordere Drahtcerclage sowie um das Bewegungsverhalten nach Durchtrennung des hinteren Bandapparates.

Messungen der intakten Wirbelsäulen ergaben keine bedeutenden Abweichungen von den Ergebnissen der beiden ersten Versuchsreihen, so daß wir sofort die Manipulationen unternahmen. Wir wählten für das Einbringen der Palacosplombe an diesen Präparaten die Zwischenwirbelräume C6/C7. Zunächst entfernten wir nach oben beschriebener Methode den Discus intervertebralis 5 zwischen C6/C7. Dann setzten wir auf dem Corpus vertebrae C7 in den lateralen Bereichen etwa 1,o cm unterhalb der oberen Deckplattenkante je einen Kirschner-Draht an und bohrten schräg nach oben je ein Loch durch die Deckplatte des Wirbelkörpers. An den gegenüberliegenden Stellen der Unterkante des 6. Wirbelkörpers verfuhren wir in gleicher Weise.

Durch die entstandenen vier Löcher führten wir nun einen biegsamen Draht, wie er für normale Drahtcerclagen verwendet wird. Es folgte das Einbringen der Kragenknopf-Palacosplombe nach oben beschriebener Methode und Fixierung der Halswirbelsäule in physiologischer Stellung bis zur Aushärtung.

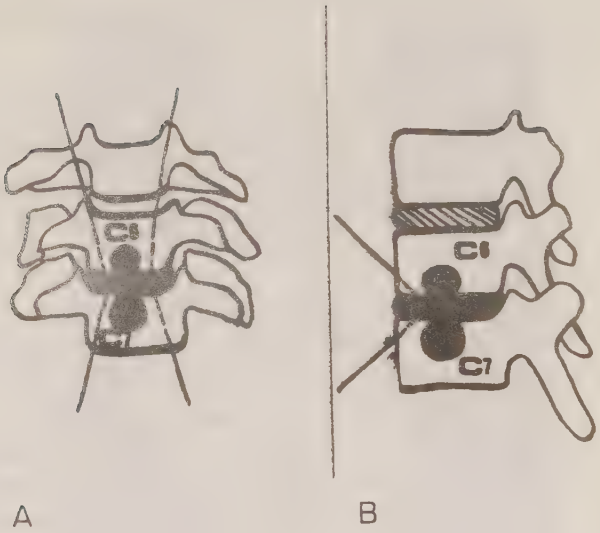

Abb. 10: Schematische Darstellung der Kragenknof-Palacosplombe zwischen C6/C7 sowie der Verlauf der vorderen Drahtcerclage in a) frontaler und b) seitlicher Ansicht

Danach verschlossen wir die Drahtcerclage in modo typico und hatten somit die vordere Stabilität völlig wiederhergestellt. Wir durchtrennten nun den hinteren Bandapparat zwischen C6/C7. Dabei entfernten wir die Ligg.interspinalia, supraspinalia, flava sowie die Gelenkkapseln und legten die Facetten frei. Die so vorbereiteten Präparate wurden nun mit 2 kg und 4 kg nach dorsal und mit 2 kg nach ventral gezogen, wobei uns in

diesem Fall in erster Linie der Bewegungsablauf in direkter Nachbarschaft der Palacosplombe interessierte.

Tabelle 7 enthält die Ergebnisse dieses Versuches:

Wirbelsäule 5	Ventralzug 2kg	Dorsalzug 2kg	Dorsalzug 4kg
Winkel C5/C6	-7°	+12°	+17°
Winkel C6/C7	-40°	+3°	+3°
Winkel C5/C7	-46°	+15°	+20°
Wirbelsäule 6			
Winkel C5/C6	-9°	+12°	+18°
Winkel C6/C7	-47°	+4°	+4°
Winkel C5/C7	-51°	+15°	+18°

Tabelle 7: Meßergebnisse an den Wirbelsäulen 5 und 6 nach Kragenknopf-Palacosplombe sowie vorderer und hinterer Banddurchtrennung

Wie aus diesen Ergebnissen ersichtlich, wird wegen der nun festen Verbindung der Wirbelkörper C6/C7 der Winkel C5/C6 bei Dorsalzug erheblich großer und macht 80% des Winkels C5/C7 aus. Der maximale Beugungs-Streckungs-Winkel C5/C7 betrug bei Wirbelsäule 5 = 61° und bei Wirbelsäule 6 = 66°. Der Ventralzug führte zu einem besonders bemerkenswerten Ergebnis. Die obere Verankerung der Palacosplombe

in C6 brach ab und führte zu einem Aufklappen des jeweiligen Präparates nach ventral. Allerdings hielt die vordere Drahtcerclage trotz Durchtrennung des hinteren Bandapparates der Belastung stand und verhinderte somit ein ventrales Auseinanderbrechen des jeweiligen Präparates. Abbilung 11 macht diese Situation deutlich.

Abb. 11: Die Röntgenaufnahmen des gleichen Präparates bei a) 2kg Ventralzug b) ohne Zug c) 2kg Dorsalzug.
a) zeigt deutlich die abgebrochene Verankerung der Plombe in C6 und das damit verbundene Aufklappen des Präparates nach ventral, jedoch ohne Zerstörung der vorderen Drahtcerclage.

Abb. 11 b

Die nachfolgende Winkelmessung der Halswirbelsäulen 7 und 8 in physiologischer Stellung - also ohne Zugbelastung - zeigt, daß sich der Gesamtwinkel C2/C7 durch den Fortfall des 5. Wirbelkörpers und dem damit verbundenen Verlust eines erheblichen Teils des Lig.longitudinale anterius nahezu verdoppelt hat. Dies wird aus Tabelle 8 ersichtlich:

Wirbelsäule 7	ohne Belastung
Winkel C2/C7	+7°
Winkel C3/C4	+7°
Winkel C2/C7	+34°
Wirbelsäule 8	
Winkel C2/C3	+5°
Winkel C3/C4	+6°
Winkel C2/C7	+31°

Tabelle 8: Meßergebnisse an den Wirbelsäulen 7 und 8 nach Wirbelkörperausräumung

Abb. 13: Röntgenaufnahme dieses Präparates ohne Belastung

4.2. Wirbelkörperersatz durch Palacos und vordere Drahtcerclage

Es folgte der Wirbelkörperersatz durch Palacos, der in oben beschriebener Kragenknopfform in der unteren Deckplatte des 4. und oberen Deckplatte des 6. Wirbelkörpers verankert wurde. Vorangegangen war das Anbringen einer vorderen Drahtcerclage, welche ebenso nach oben beschriebener Methode an C4 und C6 angebracht worden war. Nach Aushärten der Palacosplombe wurde die Cerclage geschlossen und die Präparate Belastungsversuchen mit 2 kg und 4 kg unterzogen.

Tabelle 9 enthält die Ergebnisse:

Wirbelsäule 7	Ventralzug 4kg	2kg	ohne Belastung	Dorsalzug 2kg	4kg
Winkel C2/C3	-6°	-6°	+7°	+7°	+8°
Winkel C3/C4	-3°	-2°	+4°	+4°	+6°
Winkel C3/C7	-18°	-18°	+1°	+1°	+3°
Winkel C2/C7	-15°	-15°	+6°	+7°	+10°
Wirbelsäule 8					
Winkel C2/C3	-6°	-6°	-6°	-6°	+8°
Winkel C3/C4	-4°	-4°	+4°	+4°	+5°
Winkel C3/C7	-18°	-18°	+1°	+1°	+2°
Winkel C2/C7	-17°	-16°	+6°	+8°	+9°

Tabelle 9: Meßergebnisse an den Wirbelsäulen 7 und 8 nach Palacosersatz und vorderer Drahtcerclage

Der maximale Beugungs-Streckungs-Winkel betrug bei Wirbelsäule 7 = 25° und bei Wirbelsäule 8 = 24°. Dieses Ergebnis zeigt, daß die Wirbelsäulen nun wesentlich steiler stehen, das heißt, rund 2/3 ihrer physiologischen Halslordose verloren haben. Man erkennt in Abbildung 14 den kompletten Fortfall der Beweglichkeit zwischen C4 und C6 sehr deutlich. An dieser Situation ändert auch die Zugbelastung mit 4 kg nur relativ wenig.

Auf Abbildung 14 ist zusätzlich eine deutlich S-kurvenförmige Verbiegung der Wirbelsäule zu erkennen, die durch ein sichtbares Zurückgleiten des 4. Halswirbelkörpers nach dorsal zu erklären ist. Die S-Kurvenform der Wirbelsäule erklärt auch den größeren Winkel C3/C7 gegenüber dem Gesamtwinkel C2/C7. Es ist außerdem zu erkennen, daß sich der Palacosersatz auf der Deckplatte C6 beim Ventralzug zwar gelockert hat, die Verankerung in C6 jedoch der Belastung standhielt; ebenso zeigt die vordere Drahtcerclage keine Anzeichen des sich Lockerns oder gar Ausreißens.

Abb. 14: Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule 7 nach Wirbelkörperersatz durch Palacos mit Kragenknopf-Verankerung in C4 und C6 mit zusätzlicher vorderer Drahtcerclage bei a) 4 kg Dorsalzug b) ohne Zug c) 4 kg Ventralzug. Auffällig ist die geringe Dorsalneigung bei 4 kg Belastung. In c) wird die Lockerung des Palacosersatzes auf C6 deutlich

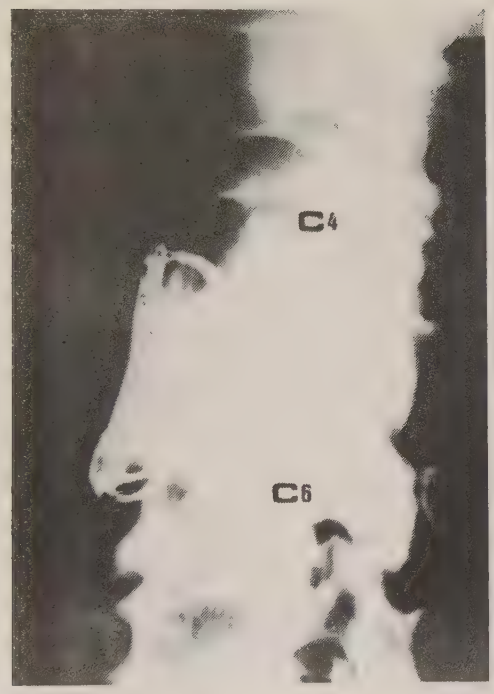

Abb. 14 b

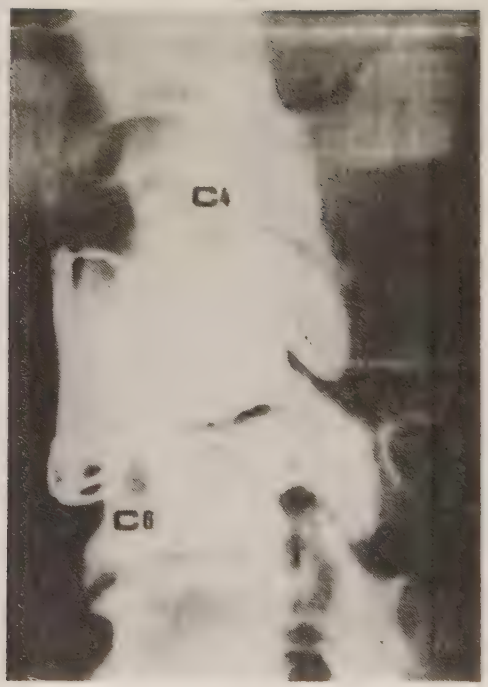

Abb. 14 c

4.3. Durchtrennung hinterer Bandstrukturen

Anschließend durchtrennten wir die hinteren Bandstrukturen, ließen jedoch Gelenkkapseln und Facetten intakt und führten die gleichen Messungen noch einmal durch. Tabelle 10 enthält die Ergebnisse.

Wirbelsäule 7	Ventralzug 4kg	2kg	Dorsalzug 2kg	4kg
Winkel C3/C4	-4°	-4°	-4°	+6°
Winkel C3/C7	-21°	-19°	+1°	+3°
Wirbelsäule 8				
Winkel C3/C4	-5°	-5°	+4°	+5°
Winkel C3/C7	-22°	-21°	+2°	+1°

Tabelle 10: Wirbelsäulen 7 und 8, Palacos-Wirbelersatz und vordere Drahtcerclage sowie Durchtrennung des Ligamentum interspinosum

Der maximale Bewegungs-Streckungs-Winkel betrug bei Wirbelsäule 7 = 22° und bei Wirbelsäule 8 = 23°. Diese Ergebnisse zeigen, daß das Durchtrennen eines Teils der hinteren Bänder keinen wesentlichen Einfluß auf das Bewegungsverhalten der Wirbelsäulen hat. Trotz eines weiteren Fortschreitens der bereits oben beschriebenen Lockerung des Palacos-Ersatzes unmittelbar hinter der Verankerung auf der Deckplatte von C6 (s. Abbildung 15) zeigten die Präparate ein stabiles Bewegungsverhalten.

Abb. 15: Röntgenaufnahmen des gleichen Präparates nach Durchtrennung des Ligamentum interspinosum a) auffällig das weitere Aufklappen der Wirbelsäule bei 4 kg Ventralzug b) 4 kg Dorsalzug

Abb. 15 b

V. Biomechanische Untersuchungen an der instabilen Halswirbelsäule

1. Untersuchungsergebnisse

5. Versuchsreihe 5, Wirbelsäulen 9 und 10

5.1. Durchtrennung hinterer Bandelemente

Der Versuch wurde mit zwei Halswirbelsäulen durchgeführt. Beide Präparate wurden instabilisiert, indem das Lig.supraspinale und interspinale sowie das Lig.flavum, zwischen C6 und C7 durchtrennt wurde. Die Wirbelsäulen wurden mit 2 kg und 4 kg Dorsal- bzw. Ventralzug belastet und streng seitlich geröntgt. Auf den Röntgenbildern wurden folgende Winkel vermessen: Winkel C5/C6 zwischen Unterkante HWK 5 und Oberkante HWK 6 sowie Winkel C6/C7 zwischen Unterkante HWK 6 und Oberkante HWK 7. Die Meßergebnisse sind in Tabelle 11 aufgeführt.

Wirbelsäule 9	Ventralzug 4kg	2kg	ohne Belastung	Dorsalzug 2kg	4kg
Winkel C5/C6	-2°	-1°	+8°	+13°	+15°
Winkel C6/C7	-3°	-1,5°	+6°	+10°	+13°
Wirbelsäule 10					
Winkel C5/C6	-3°	-2°	+6°	+10°	+13°
Winkel C6/C7	-3°	-1°	+7°	+12°	+14°

Tabelle 11: Durchtrennung der hinteren Bandelemente bei Wirbelsäule 9 und 10

Wirbelsäule 11	Ventralzug 4kg	2kg	ohne Belastung	Dorsalzug 2kg	4kg
Winkel C4/C5	-3°	-2,5°	+4°	+6,5°	+8,5°
Winkel C5/C6	-4°	-3°	+4,5°	+8°	+8°
Winkel C6/C7	-4°	-3,5°	+8°	+8,5°	+9°
Wirbelsäule 12					
Winkel C4/C5	-2,5°	-1°	+6°	+7°	+7,5°
Winkel C5/C6	-3°	-2°	+6°	+7°	+10°
Winkel C6/C7	-4,5°	-3°	+7°	+8°	+8,5°

Tabelle 13: Wirbelsäulen 11 und 12, Durchtrennung hinterer stabilisierender Elemente

Abbildung 16 zeigt Halswirbelsäule 11 nach Durchtrennung der hinteren Bandelemente in O-Stellung sowie unter 4 kg Dorsal- bzw. Ventralzug.

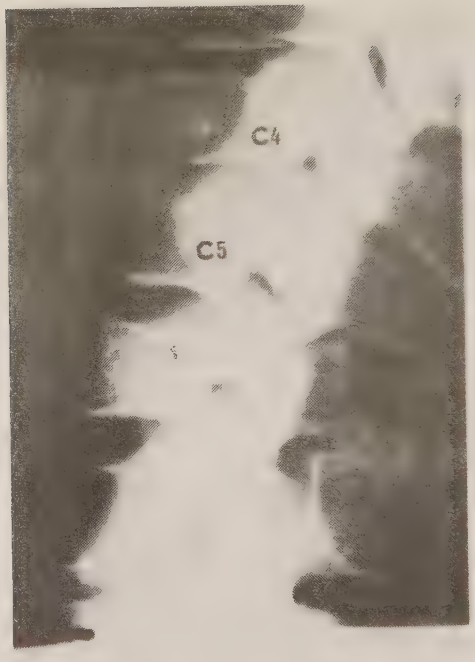

Abb. 16: Wirbelsäule 11, Durchtrennung hinterer stabilisierender Elemente a) 0-Stellung b) 4 kg Dorsalzug c) 4 kg Ventralzug

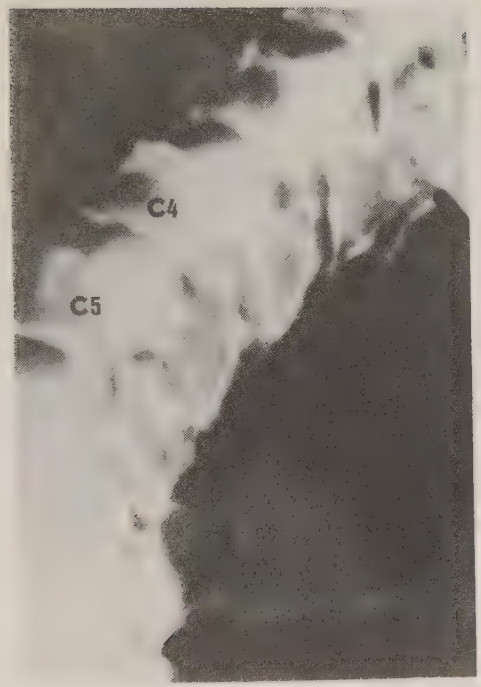

Abb. 16 b

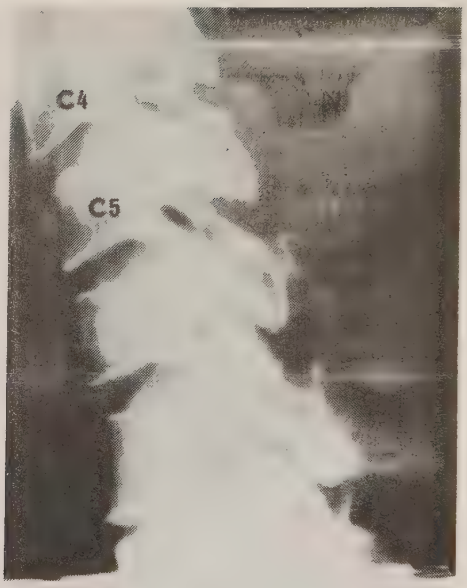

Abb. 16 c

6.2. Durchtrennung hinterer Bandelemente mit hinterer Palacos-Draht-Verbundplombe

Beide Halswirbelsäulen wurden nun durch eine Palacos-Draht-Verbundplombe von dorsal her stabilisiert. Hierzu wurde durch die Processi spinosi von C5 und C6 je ein Loch gebohrt und durch diese ein Draht geführt. Alsdann wurde eine Knochenzementplombe über den gesetzten Defekt und die angrenzenden Wirbelbögen gelegt und die Drähte über der ausgehärteten Plombe kreuzweise verdrillt. Beide Wirbelsäulen wurden dann in bekannter Weise belastet. Die Meßergebnisse sind in Tabelle 14 dargestellt:

Wirbelsäule 11	Ventralzug 4kg	2kg	ohne Belastung	Dorsalzug 2kg	4kg
Winkel C4/C7	-4°	-4°	+6°	+6,5°	+6,5°
Winkel C5/C6	0°	0°	+7°	+7°	+7°
Winkel C6/C7	-5°	-2°	+8°	+8°	+8°
Wirbelsäule 12					
Winkel C4/C5	-3°	-3°	+6,5°	+7°	+7°
Winkel C5/C6	-3°	-3°	+6°	+6°	+6°
Winkel C6/C7	-4,5°	-3°	+7,5°	+7,5°	+7,5°

Tabelle 14: Wirbelsäulen 11 und 12, Durchtrennung hinterer Bandelemenete und hintere Palacos-Draht-Verbundplombe

6.3. Zusätzliche Durchtrennung vorderer stabilisierender Elemente

Die Präparate wurden von ventral weiter instabilisiert. Hierzu wurde die Zwischenwirbelscheibe zwischen HWK 5 und HWK 6 entfernt und das vordere Längsband zwischen C5 und C6 durchtrennt. Die gefundenen Meßergebnisse sind in Tabelle 15 aufgelistet:

Wirbelsäule 11	Ventralzug 2kg	4kg	ohne Belastung	Dorsalzug 2kg	4kg
Winkel C4/C5	-4°	-2°	+6°	+6°	+6,5°
Winkel C5/C6	-5°	-1°	+7°	+10°	+11°
Winkel C6/C7	-6°	-2°	+8°	+10°	+10°
Wirbelsäule 12					
Winkel C4/C5	-3°	-2°	+6,5°	+7°	+7°
Winkel C5/C6	-6°	-4°	+6°	+9°	+10°
Winkel C6/C7	-5°	-3,5°	+7,5°	+9°	+9,5°

Tabelle 15: Wirbelsäulen 11 und 12, Durchtrennung vorderer und hinterer Bandelemente mit hinterer Palacos-Draht-Verbundplombe

6.4. Zusätzliche vordere Stabilisierung mit Palacos-Kragenknopfplombe und Drahtcerclage

Beide Halswirbelsäulen wurden von ventral durch eine Palacos-Kragenknopfplombe und vordere Drahtcerclage stabilisiert. Abbildung 17 zeigt schematisiert die Verdrahtung von HWK 5 und HWK 6. Die Belastung der Wirbelsäulen erbrachte die in Tabelle 16 dargestellten Meßergebnisse:

Wirbelsäule 11	Ventralzug 4kg	Ventralzug 2kg	ohne Belastung	Dorsalzug 2kg	Dorsalzug 4kg
Winkel C4/C5	0°	0°	+6°	+6,5°	+6,5°
Winkel C5/C6	+7°	+7°	+7°	+7°	+7°
Winkel C6/C7	-5°	-2°	+8,5°	+6°	+6°
Wirbelsäule 12					
Winkel C4/C5	-1°	-1°	+6,5°	+7°	+7,5°
Winkel C5/C6	+6°	+6°	+6°	+6°	+6°
Winkel C6/C7	-5°	-4°	+7,5°	+9°	+9°

Tabelle 16: Wirbelsäulen 11 und 12, Palacos-Kragenknopfplombe und vordere Drahtcerclage

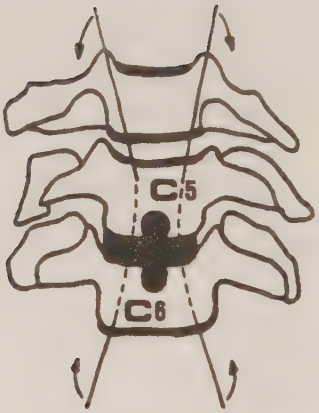

Abb. 17: Palacos-Kragenknopfplombe und vordere Drahtcerclage

Abbildung 18 zeigt Wirbelsäule 11 mit vorderer und hinterer Stabilisierung in O-Stellung und unter 4 kg Dorsal- bzw. Ventralzug.

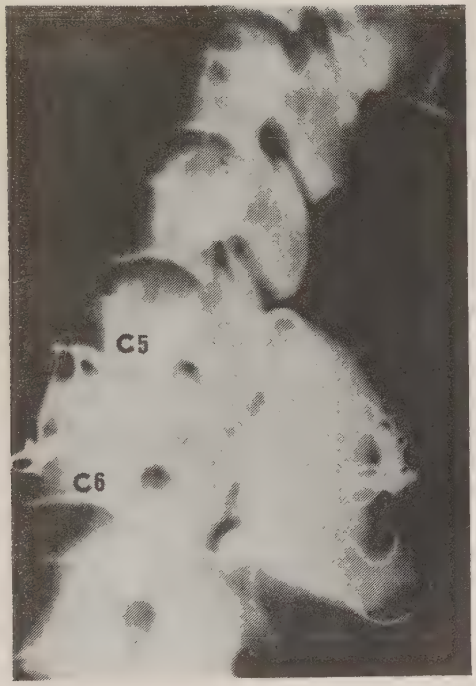

Abb. 18: Wirbelsäule 11, vordere und hintere Stabilisierung a) 0-Stellung b) 4 kg Dorsalzug
c) 4 kg Ventralzug

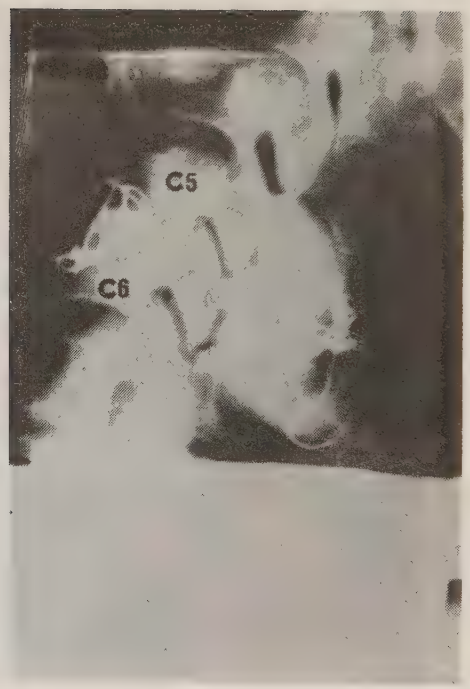

Abb. 18 b

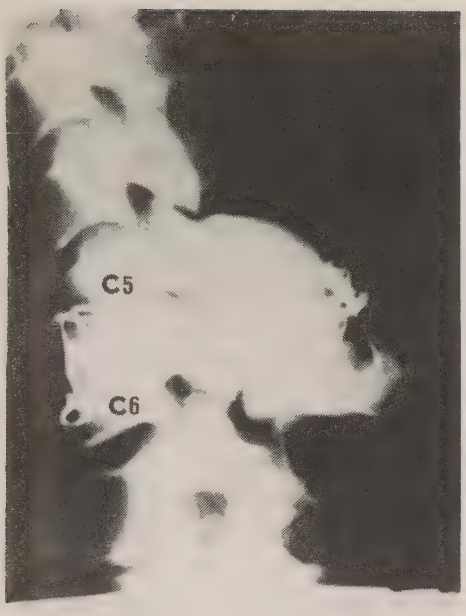

Abb. 18 c

7. Versuchsreihe, Wirbelsäulen 13 und 14

7.1. Durchtrennung bzw. Entfernung der hinteren stabilisierenden Elemente

Für die Versuchsreihe wurden zwei Halswirbelsäulen wie folgt instabilisiert: Das Lig.supraspinale und interspinale sowie das Lig.flavum wurden zwischen C5, C6 und C7 durchtrennt. Außerdem wurde der Dornfortsatz und der Bogen sowie die untere Gelenkfacette von C6 entfernt. Die Halswirbelsäulen wurden auf die beschriebene Art und Weise in die Versuchsvorrichtung eingespannt und mit 2 und 4 kg Dorsal- bzw. Ventralzug belastet. Beide Präparate wurden in O-Stellung, das heißt ohne Belastung, sowie in allen Belastungsstufen streng seitlich geröntgt. Folgende Winkel wurden auf den Röntgenaufnahmen ausgemessen: Winkel C2/C7 zwischen Unterkante HWK 2 und Unterkante HWK 7, Winkel C5/C6 zwischen Unterkante HWK 5 und Oberkante HWK 6 sowie Winkel C6/C7 zwischen Unterkante HWK 6 und Oberkante HWK 7.

Die Meßergebnisse sind in Tabelle 18 zusammengefaßt:

Wirbelsäule 13	Ventralzug 4kg	Ventralzug 2kg	ohne Belastung	Dorsalzug 2kg	Dorsalzug 4kg
Winkel C2/C7	-20°	-10°	+20°	+32°	+36°
Winkel C5/C6	-2°	0°	+7°	+8°	+8°
Winkel C6/C7	-3°	-3°	+6°	+8°	+8°
Wirbelsäule 14					
Winkel C2/C7	-19°	-11°	+18°	+29°	+32°
Winkel C5/C6	-4°	-2°	+7°	+9°	+9°
Winkel C6/C7	-5°	-4°	+7°	+8°	+8,5°

Tabelle 17: Wirbelsäulen 13 und 14, Durchtrennung bzw. Entfernung der hinteren stabilisierenden Elemente

Der Gesamtwinkel zwischen maximaler Beugung und Streckung betrug bei Wirbelsäule 13 = 56°, bei Wirbelsäule 14 = 51°, bezogen auf den Winkel C2/C7.

Abbildung 19 zeigt Wirbelsäule 13 unter einer Belastung von 4 kg Ventralzug, in O-Stellung sowie unter eine Belastung von 4 kg Dorsalzug.

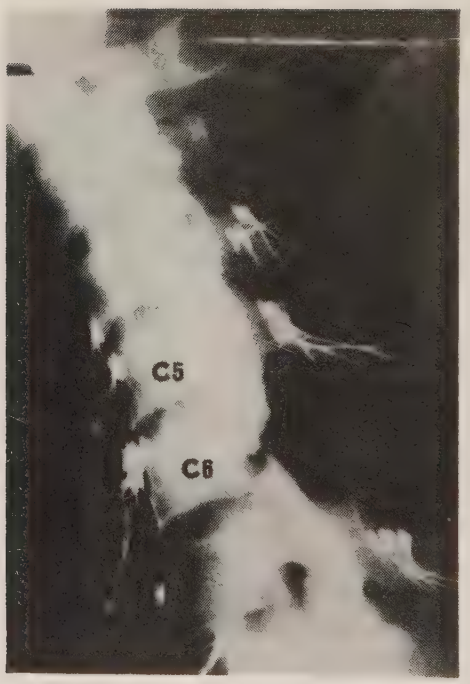

Abb. 19: Wirbelsäulen 18 und 19, Durchtrennung bzw. Entfernung der hinteren stabilisierenden Elemente a) 4 kg Ventralzug b) O-Stellung c) 4 kg Dorsalzug

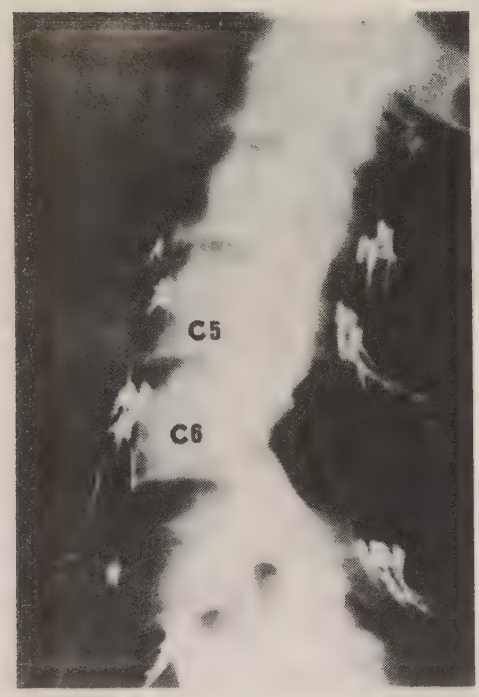

Abb. 19 b

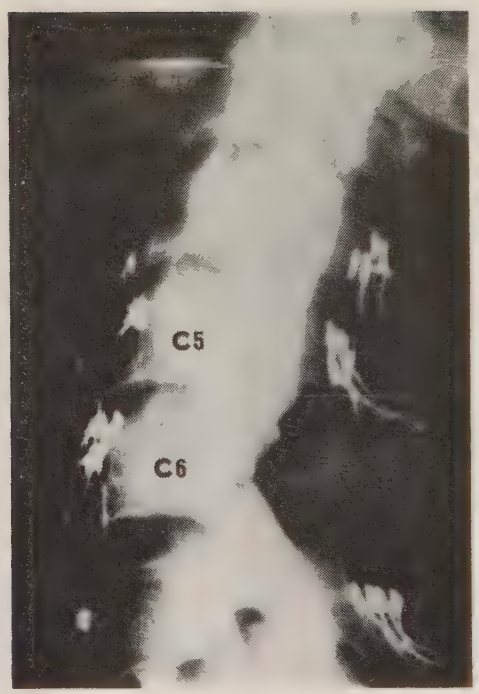

Abb. 19 c

7.2. Hintere Palacos-Draht-Netz-Verbundplombe

Beide Halswirbelsäulen wurden nun durch eine Palacos-Draht-Netz-Verbundplombe stabilisiert.

Zunächst legten wir ein Metallnetz über das freiliegende Rückenmark, um ein Eindringen von Knochenzement in den Rückenmarkskanal zu verhindern. Durch die Processi spinosi von C5 und C7 wurde ein Loch gebohrt, durch welches ein Draht geführt und verdrillt wurde, um ein späteres Auseinanderweichen der Segmente zu verhindern. Außerdem wurden nun zwei Drähte durch die Wirbelbögen von C5 und C7 quer hindurchgeführt und das Metallnetz daran fixiert. Der Defekt wurde mit Palacos aufgefüllt und die überstehenden Drähte wurden kreuzweise über der Palacosplombe verdrillt.

Abbildung 20 zeigt eine schematisierte Darstellung der vorgenommenen Manipulationen.

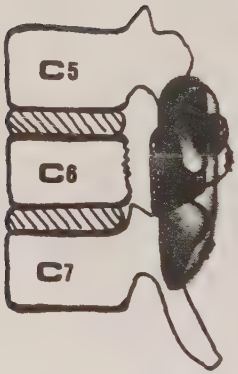

Abb. 20: Schematisierte Darstellung der Palacos-Draht-Netz-Verbundplombe

Nach Aushärten des Knochenzementes wurden die Wirbelsäulen in bereits bekannter Weise belastet. Die Meßergebnisse zeigt Tabelle 18:

Wirbelsäule 13	Ventralzug 4kg	2kg	ohne Belastung	Dorsalzug 2kg	4kg
Winkel C2/C7	+3°	+10°	+20°	+22°	+24°
Winkel C5/C6	-2,5°	+3°	+5°	+7°	+8°
Winkel C6/C7	+4°	+5°	+6°	+7°	+8°
Wirbelsäule 14					
Winkel C2/C7	+2°	+9°	+17°	+20°	+23°
Winkel C5/C6	+1°	+2°	+6°	+7°	+7,5°
Winkel C6/C7	+2°	+6°	+6°	+7,5°	+8°

Tabelle 18: Wirbelsäulen 13 und 14, hintere Palacos-Draht-Netz-Verbundplombe

Der Gesamtwinkel zwischen maximaler Beugung und Streckung betrug bei Wirbelsäule 13 und 14 = 21°, gemessen am Winkel C2/C7.

Abbildung 21 zeigt Wirbelsäule 13 ohne Belastung und mit 4 kg Dorsal- bzw. Ventralzug.

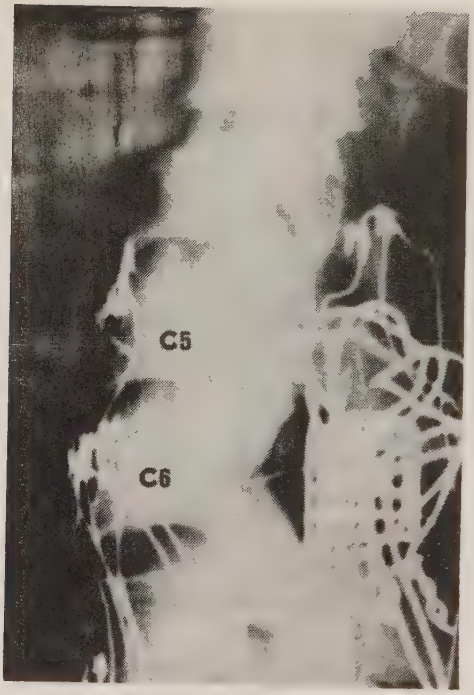

Abb. 21: Wirbelsäule 13, Palacos-Draht-Netz-Verbundplombe a) O-Stellung b) 4 kg Dorsalzug c) 4 kg Ventralzug

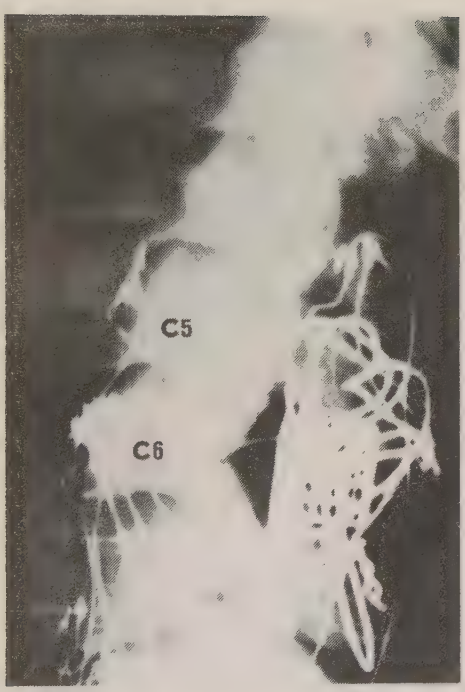

Abb. 21 b

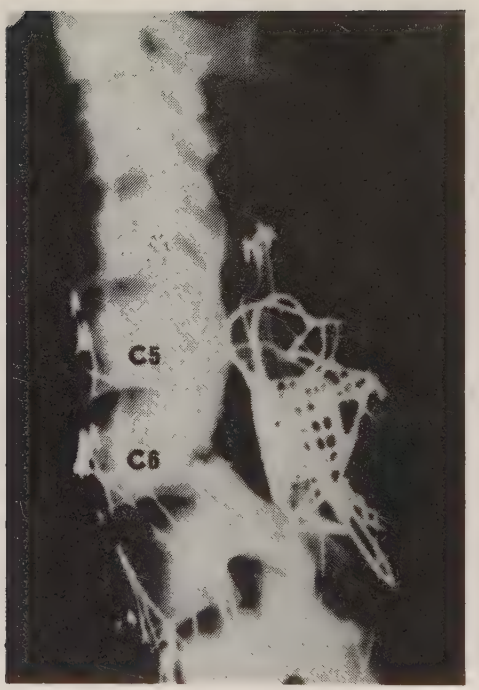

Abb. 21 c

7.3. Palacos-Draht-Netz-Verbundplombe und zusätzliche Entfernung vorderer stabilisierender Elemente

An den Wirbelsäulen wurde zwischen C6 und C7 bei den Präparaten das vordere und hintere Längsband durchtrennt sowie die Zwischenwirbelscheibe entfernt. Die Belastung der so präparierten Wirbelsäulen erfolgte mit 4 kg und 8 kg Dorsal- bzw. Ventralzug.

Die Meßergebnisse sind in Tabelle 19 dargestellt:

Wirbelsäule 13	Ventralzug 8kg	Ventralzug 4kg	ohne Belastung	Dorsalzug 4kg	Dorsalzug 8kg
Winkel C2/C7	-8°	+3°	+19°	+26°	+33°
Winkel C5/C6	+2,5°	+2,5°	+5°	+7°	+9°
Winkel C6/C7	+4°	+4°	+6°	+11°	+12°
Wirbelsäule 14					
Winkel C2/C7	-6°	+1°	+17°	+25°	+30°
Winkel C5/C6	+3°	+3°	+6°	+9°	+10°
Winkel C6/C7	+5°	+5°	+6°	+11°	+13°

Tabelle 19: Wirbelsäulen 13 und 14, Palacos-Draht-Netz-Verbundplombe und zusätzliche Entfernung vorderer stabilisierender Elemente

Der Gesamtwinkel zwischen maximaler Beugung und Streckung betrug bei Wirbelsäule 13 = 41°, bei Wirbelsäule 14 = 36°.

8. Versuchsreihe, Wirbelsäulen 15 und 16

8.1. Durchtrennung bzw. Entfernung hinterer und vorderer stabilisierender Elemente, hintere Stabilisierung und zusätzliche Entfernung des 6. Halswirbelkörpers

Für die Versuchsreihe standen wiederum zwei Halswirbelsäulen zur Verfügung, die auf folgende Weise instabilisiert wurden: Das Lig.supraspinale und interspinale sowie das Lig.flavum zwischen C6, C7 und Th1 wurden durchtrennt. Dornfortsätze und Bogen sowie die untere Gelenkfacette von C7 wurden entfernt. Beide Wirbelsäulen wurden nun von dorsal durch eine Palacos-Draht-Netz-Verbundplombe stabilisiert, wie sie bereits bei den Wirbelsäulen 13 und 14 Anwendung fand. Sodann wurden die Wirbelsäulen weiter instabilisiert, indem die Bandscheibe zwischen HWK 6 und HWK 7 entfernt und das vordere und hintere Längsband zwischen C6 und C7 durchtrennt wurde. Zustäzlich wurde alsdann bei beiden Halswirbelsäulen der 6. Halswirbelkörper entfernt. Wegen der Entfernung des Wirbelkörpers mußten nunmehr folgende Winkel vermessen werden: Winkel C2/C7 zwischen Unterkante HWK 2 und Unterkante HWK 7, Winkel C5/C7 zwischen Unterkante HWK 5 und Oberkante HWK 7. Nach der üblichen Belastung ergaben sich folgende Meßergebnisse, die in Tabelle 20 dargestellt sind:

Wirbelsäule 15	Ventralzug 4kg	2kg	ohne Belastung	Dorsalzug 2kg	4kg
Winkel C2/C7	-29°	-26°	+16°	+36°	+45°
Winkel C5/C7	-17°	-10°	+12°	+16°	+20°
Wirbelsäule 16					
Winkel C2/C7	-26°	-20°	+19°	+40°	+48°
Winkel C5/C7	-15°	-8°	+10°	+15°	+22°

Tabelle 20: Wirbelsäulen 15 und 16, zusätzliche Entfernung des 6. Halswirbelkörpers

Der Gesamtwinkel zwischen maximaler Beugung und Streckung, bezogen auf den Winkel C2/C7, betrug bei Wirbelsäule 15 = 73° und bei Wirbelsäule 16 = 74°.

8.2. Vordere Palacos-Draht-Netz-Verbundplombe

Beide Wirbelsäulen wurden nun von ventral durch eine Palacos-Draht-Netz-Verbundplombe stabilisiert. Dabei wurde ein Metallnetz so angebracht, daß der später eingebrachte Knochenzement nicht mit dem Rückenmark in Berührung kommen konnte. Sodann wurden durch die Wirbelkörper con C6 und TH 1 je zwei Löcher gebohrt und durch diese ein Draht geführt, der ein Auseinanderweichen der Wirbelkörper verhindern sollte. Der Defekt wurde mit Palacos aufgefüllt und die Drähte über der ausgehärteten Knochenzementplombe verdrillt. Abbildung 22 zeigt eine schematisierte Darstellung dieser Präparationsstufe.

Abb. 22: Vordere Palacos-Draht-Netz-Verbundplombe, schematische Darstellung

Beide Halswirbelsäulen wurden in bekannter Weise belastet und vermessen. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 21:

Wirbelsäule 15	Ventralzug 4kg	2kg	ohne Belastung	Dorsalzug 2kg	4kg
Winkel C2/C7	-25°	-22°	+15°	+23°	+29°
Winkel C5/C7	-6°	-6°	-6°	-6°	-6°
Wirbelsäule 16					
Winkel C2/C7	-22°	-16°	+19°	+26°	+30°
Winkel C5/C7	-3°	-3°	-3°	-3°	-3°

Tabelle 21: Wirbelsäulen 15 und 16, vordere Palacos-Draht-Netz-Verbundplombe

Der Gesamtwinkel zwischen maximaler Beugung und Streckung betrug bei Wirbelsäule 15 = 54° und bei Wirbelsäule 16 = 52°, gemessen am Winkel C2/C7. Abbildung 23 zeigt Wirbelsäule 15 mit vorderer und hinterer Stabilisierung in O-Stellung und unter 2 kg Dorsal- bzw. Ventralzug.

Abb. 23: Wirbelsäule 15, vordere und hintere Stabilisierung a) O-Stellung b) 4 kg Dorsalzug
c) 4 kg Ventralzug

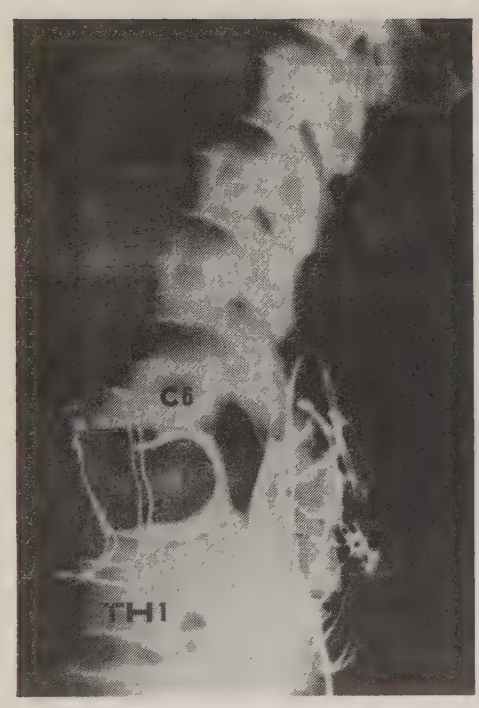

Abb. 23 b

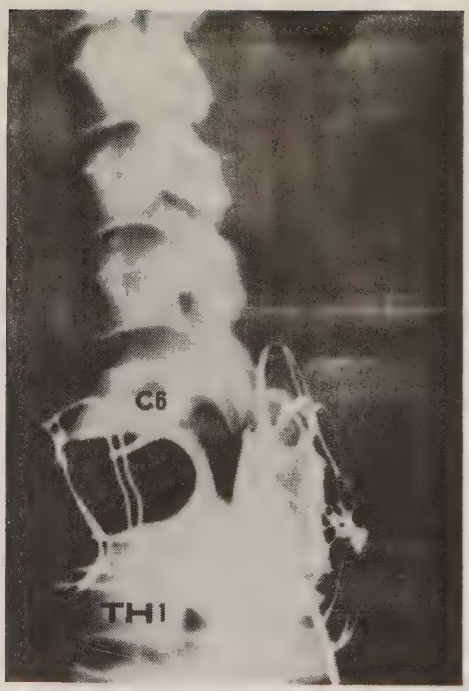

Abb. 23 c

VI. Diskussion

A. Ergebnisse der Versuchsreihen 1 - 4

Ziel dieser Versuchsreihen war es, den durch Bandscheiben bzw. Wirbelskörperausräumungen hypermobilen Halswirbelsäulen mittels Palacos-Ersatz wieder Stabilität zu verleihen. Dabei standen verschiedene Techniken bezüglich der Form des Ersatzes und dessen Verankerung in den benachbarten Wirbelkörpern zur Debatte. In der Literatur sind zahlreiche Techniken beschrieben. So benutzte DUNN Knochenzement, Draht und Metallplatten und versuchte, durch eine Kragenknopf-Verankerung, Kirschner-Drähte oder Schrauben die Knochenzement-Plombe mit den benachbarten Wirbelkörpern zu verbinden. DUNN experimentierte auch mit einem Wirbelkörperersatz aus Metall. GORAM und MURTHY experimentierten mit dem Kieler Span und mit autogenem Knochematerial nach der Methode von CLOWARD.

In der Versuchsreihe 1.2. entschlossen wir uns zu einer Resektion der Grund- und Deckplatten sowie einer muldenförmigen Verankerung, da schon die Versuche von DUNN zeigten, daß die Palacos-Spongiosa-Verbindung eine bessere Haftung ergibt. Die Röntgenaufnahmen nach den Belastungsversuchen führten jedoch zu dem Ergebnis, daß die Form der Plombe sowie die Verankerungsart nicht in jedem Falle in der Lage waren, die Halswirbelsäule bzw. das betreffende Bewegungssegment allein zu stabilisieren. In vivo, das heißt mit Hilfe der Muskulatur, scheint diese Verbindung fester zu sein, wie die Operationen, die vielerorts durchgeführt werden, zeigen. In unserem Versuch hat die Plombe sich in der oberen Verankerung

gelockert, bzw. war bei einem Dorsalzug von 4 kg teilweise ausgerissen. Die mäßige Stabilisierungsfähigkeit dieser Plombe wurde nach der Durchtrennung eines Teils der hinteren Strukturen noch deutlicher (1.3.). Nach dieser Manipulation riß der Palacosersatz vollständig an C 5 ab. Nach den unbefriedigenden Erfahrungen aus der 1. Versuchsreihe entschlossen wir uns, in der Versuchsreihe 2 die Deck- und Grundplatten der benachbarten Wirbelkörper zu belassen und die Palacosplombe mittels kragenknopfartigem Zapfen in der Wirbelsäule zu verankern. Zuvor interessierte uns jedoch das biomechanische Verhalten der Halswirbelsäule nach Bandscheiben-Ausräumung (2.1.). Der 5. Halswirbelkörper legte sich wegen des Fortfalls der Bandscheibe bei Ventralzug völlig dem 6. Halswirbelkörper an und wich daher nach dorsal zurück, was zu einer Subluxationsstellung der Articulationes vertebrales von C5 und C6 führte.

An diesem Bewegungsverhalten änderte sich auch nach Durchtrennung der Ligg.intertransversalea (2.2.) nichts wesentliches. Diese zusätzlich induzierte vordere Instabilität ist also für die durch Bandscheibenausräumung ohnehin schon hypermobile Halswirbelsäule von keiner größeren Bedeutung, abgesehen von einer geringfügigen Erhöhung des Gesamtwinkels C2/C7. Der nun erfolgte Palacos-Ersatz (2.3.) verlieh der Halswirbelsäule zwar wieder eine zufriedenstellende Stabilität, wurde jedoch durch eine segmentale Bewegungseinschränkung - die natürlich durch die Starrheit des Materials erklärbar ist - erkauft, was an der Messung des Einzelwinkels im blockerten Segment bei Beugung und Streckung ablesbar war. Auch die oben erwähnte

Subluxationsstellung konnte durch die Palacos-Plombe nicht vollständig beseitigt werden. Insgesamt war jede Form und Verankerung der Plombe wesentlich stabiler, verglichen mit Versuchsreihe 1, wenn auch ein Lockern oder Ausreißen nicht sicher ausgeschlossen werden konnte.

Bei der Versuchsreihe 3 ging es uns darum, nach den doch unbefriedigenden Ergebnissen der ersten beiden Versuchsreihen den Palacos-Ersatz durch zusätzliche Maßnahmen vor Lockern oder gar Ausreißen zu schützen, zumal wir einen Teil der hinteren Bandstrukturen zerstörten. Von biomechanischen Untersuchungen an der hypermobilen Halswirbelsäule sahen wir in diesem Falle ab, da die zusätzlich induzierte hintere Instabilität sicherlich bei Ventralzug zu einem Auseinanderbrechen des Präparates geführt hätte. Diese Vermutung wurde durch das Ergebnis nach Palacos-Kragenknopf-Plombe und vorderer Drahtcerclage bestätigt. Bei Ventralzug brach nämlich der obere Zapfen der Plombe ab, das Präparat klappte nach ventral auf. Die vordere Drahtcerclage verhinderte jedoch ein Auseinanderbrechen des Präparates.

Bei der Versuchsreihe 4 ging es uns zunächst um das biomechanische Verhalten von Halswirbelsäulen nach Wirbelkörperausräumungen (4.1.), jedoch ohne Durchtrennung hinterer Bandstrukturen. Diese Entfernung eines ganzen Wirbelkörpers bewirkte eine erhebliche Hypermobilität, die schon in physiologischer Stellung, also ohne Zugbelastung sichtbar wurde. Der Gesamtwinkel C2/C7 hatte sich nahezu verdoppelt. Nachdem wir nun die Halswirbelsäule mit Palacos-

Kragenknopf-Plombe und vorderer Drahtcerclage stabilisiert hatten (4.2.) konnten wir anhand des maximalen Beugungs-Streckungs-Winkels bemerken, daß die Halswirbelsäule wegen der festen Verbindung nun wesentlich steiler stand. Die Beweglichkeit im Segment C4 - Plombe - C6 war völlig weggefallen. Außer einer geringgradigen Lockerung des Palacos-Ersatzes auf C6 waren die Halswirbelsäulen durch die vordere Drahtcerclage ausreichend stabilisiert worden.

Die zusätzliche Durchtrennung eines Teils der hinteren Bandstrukturen (4.3.) - die Gelenkkapseln und Facetten blieben jedoch intakt - führten, abgesehen von einem weiteren Fortschreiten des oben angeführten Lockerns des Palacos-Ersatzes auf C6, zu keiner wesentlichen Veränderung des Bewegungsmusters der Halswirbelsäule. Danach führte neben der vorderen Drahtcerclage besonders auch die Größe der Palacos-Plombe zu einer befriedigenden Stabilisierung.

B. Ergebnisse der Versuchsreihen 5 - 8

In der Versuchsreihe (5.1.) durchtrennten wir zunächst die Ligg.supraspinalia und interspinalia sowie das Lig.flavum zwischen C6/C7. Die Meßergebnisse zeigten, daß beide Wirbelsäulen auch unter Belastung eine gewisse Reststabilität behielten. Nach zusätzlicher Durchtrennung des hinteren Längsbandes (5.2.) rissen beide Wirbelsäulen unter einem Ventralzug von 4 kg auseinander. Wie auch schon MUNRO (1965) bemerkte, stellt das hintere Längsband also ein Hauptstabilisierungselement der Wirbelsäule bei Ventralzug dar.

In der Versuchsreihe (6.1.) durchtrennten wir neben den Ligg.supraspinalia und interspinalia sowie dem Lig.flavum zwischen C5 und C6 zusätzlich die Gelenkkapseln von C5 und C6. Die Meßergebnisse zeigen, daß die zusätzliche Durchtrennung der Gelenkkapseln keine Zunahme der Instabilität bewirken konnte. Der Stabilisierungsversuch beider Wirbelsäulen erfolgte in 6.2. durch Verdrahtung der benachbarten Procc.spinosi von C5 und C6 und zusätzliche Aufbringung einer Knochenzement-Verbundklammer. Die Meßergebnisse zeigten eine stabile Verbindung zwischen C5 und C6 bei allen Belastungsstufen. Die zusätzliche Entfernung der Zwischenwirbelscheibe HWS 5/HWK 6 und Durchtrennung des vorderen Längsbandes zwischen C5 und C6 (6.3.) brachte erwartungsgemäß wieder eine Instabilitätszunahme, die sich in einer Zunahme des Winkels C5/C6 bei Dorsalzug von 2 kg und 4 kg ausdrückte. Die feste Verbindung der Wirbelkörper C5 und C6 durch eine Palacos-Kragenknopf-Plombe sowie zusätzliche Verdrahtung von HWK 5 und HWK 6 (6.4.) erbrachte

eine stabile und unter jeder Belastung unveränderliche Einheit des Bewegungssegmentes.

In der Versuchsreihe (7.1.) wurde neben der Durchtrennung der hinteren Bandstrukturen auch der Dornfortsatz und der Bogen sowie die untere Gelenkfacette von C6 entfernt. Die Meßergebnisse zeigen eine erhebliche Zunahme der Instabilität beider Wirbelsäulen. Die Winkeldifferenz zwischen Flexion und Extension mit je 4 kg betrug 56° und 51°, bezogen auf den Winkel C2/C7. Die Anbringung einer dorsalen Draht-Knochenzement-Verbundklammer zwischen den benachbarten Segmenten (7.2.) führte zur Stabilisierung des Bewegungssegmentes. Die Winkeldifferenz zwischen Flexion und Extension mit 4 kg betrug nunmehr nur noch 21°. Nach Durchtrennung des vorderen und hinteren Längsbandes zwischen C6 und C7 (7.3.) wurden beide Wirbelsäulen erheblich instabiler. Die Winkeldifferenz bei 4 kg Belastung betrug nun 41° bzw. 36°.

In einer weiteren Versuchsreihe (8.1.) haben wir analog 7.1. zunächst sämtliche hinteren Anteile entfernt und die Wirbelsäulen ebenfalls mit einer Draht-Knochenzement-Verbundklammer stabilisiert. Es erfolgte dann die Ausräumung des 6. Halrwirbelkörpers, wodurch die Wirbelsäule wieder erheblich hypermobil wurde. Die Winkeldifferenz zwischen Flexion und Extension von 73° bzw. 74° bringt das deutlich zum Ausdruck. Nachdem die herausgenommenen Wirbelkörper durch eine Stahlnetz-Draht-Knochenzement-Verbundplombe ersetzt wurden, waren beide Wirbelsäulen wieder absolut stabil.

VII. Zusammenfassung

Die Untersuchung an 16 zur Verfügung stehenden Halswirbelsäulen ergab, daß nach Ersatz der Bandscheibe oder eines Wirbelkörpers mit Knochenzement die Zement-Knochen-Verbindung bereits bei relativ geringer Biege-Belastung wieder aufreißt. Dies war auch der Fall, wenn das Knochenzement-Implantat muldenförmig oder kragenknopfartig verankert worden war.

Nach mehrfacher Flexions- bzw. Extensionsbelastung bewahrte nur noch die zapfenförmige Verankerung in den benachbarten Wirbelkörpern das Implantat vor einer Luxation. Bei nicht ausreichender Dicke der Zapfen brachen sie bei den Biege-Belastungen an der Basis ab und das Segement klaffte auf. Eine ausreichende Stabilität konnte nur erreicht werden, wenn die Zugkräfte an der Zement-Knochengrenze durch eine zusätzliche Zuggurtung neutralisiert wurden. Alle stabilisierenden Maßnahmen sind erheblich vom Ausmaß der durch die Bandscheiben- bzw. Wirbelkörperausräumung entstandenen Laesionen abhängig. Hierbei spielen die verschiedenen Instabilitäten gemäß der Definition von WHITE et al. (1976) eine entscheidende Rolle.

Bei den eigentlichen Instabilitäten gemäß WHITE sollte die vordere Instabilität von vorn und die hintere Instabilität von hinten stabilisiert werden. Dies ist gerade bei der hinteren Instabilität, wie zum Beispiel nach einer Luxationsfraktur, bedingt durch ein Hyperflexions-Rotations-Trauma, von großer Bedeutung. Bei einer Versteifung mittels

Knochenzement von vorn werden intraoperativ noch die letzten stabilisierenden Bandelemente zerstört. Hingegen läßt sich relativ einfach von dorsal mit einer Draht-Knochenzement-Spange über dem betroffenen Bewegungssegment oder evtl. mit Ausdehnung auf das darüber- bzw. darunterliegende eine sichere Stabilität erreichen.

Bei tumorösen Wirbelsäulenprozessen muß praeoperativ deren Ausdehnung bestimmt werden. Sofern der Prozeß von vorderen auf hintere Wirbelanteile übergreift oder umgekehrt, muß entsprechend von dorsal und ventral stabilisiert werden.

VIII. Literaturverzeichnis

(1) Bayley, R.W. Fractures and Dislocations of the Cervical Spine: Orthopaedic and Neurosurgical Aspects. Postgrad.Med. 35:588-599 (1964)

(2) Beatson, T.R. Fractures and Dislocations of the Cervical Spine. The Journal of Bone and Joint Surgery. Vol.45 B, Nr.1., Feb. 1963

(3) Bedbrook, G.M. Are Cervical Spine Fractures Unstable? J. West.Pac.Orthop.Assoc. 6:7-29 (1969)

(4) Benninghoff-Goerttler Lehrbuch der Anatomie des Menschen, Bd.1, 10.Aufl. Urban & Schwarzenberg, München, Berlin, Wien (1968)

(5) Bowers, D.K., D.L.Thrasher The Use of Methylmetacrylate for Extensive Internal Bracing of the Cervical Spine in Metastatic Disease. West Virginia Med.J. 70:106 (1974)

(6) Clemens, H.J. Die Venensysteme der menschlichen Wirbelsäule. DeGruyter, Berlin (1961)

(7) Cross, G.O., H.L.White, L.P.White Acrylic Prosthesis of the Fifth Cervical Vertebra in Multiple Myeloma. J.Neurosurg. 35:112 (1971)

(8) Dörr, W.M., M.Stolberg Erfahrungen mit der dorsalen Wirbelsäulenversteifung durch Kunststoff (Palacos) bei Tumormetastasen und bei Tumoren. Z.Orthop. 112:848 (1974)

(9) Drexler, L. Röntgenanatomische Untersuchungen über Form und Krümmung der Halswirbelsäule in den verschiedenen Lebensaltern. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd.23, Hippokrates-Verlag, Stuttgart (1962)

(10) Dunn, E.J. The Role of Methyl-Methacrylate in the Stabilization und Replacement of Tumors of the Cervical Spine. Spine 2:15 (1977)

(11) Exner, G. Die Halswirbelsäule. Thieme-Verlag, Stuttgart (1954)

(12) Frank, A.P.H. Fehlstellungen der Wirbelsäule nach Laminektomien. Inaugural-Dissertation, Tübingen (1978)

(13) Grote, W., W.Bettag, R.Wüllenweber Indikation, Technik und Ergebnisse cervicaler Fusionen. Acta Neurochir. 22:1 (1970)

(14) Grote, W., K.Roosen Operative Behandlung der HWS-Verletzung. Beiheft Z.Unfallheilkunde/ Traumatologie 132:318 (1977)

(15) Humby, W.B., H.T.Glaser Replacement of Spinal Intervertebral Discs with Locally Polymerizing Methyl Methacrylate. Americ.Academy Neurol. Surg.Sea Island (1957)

(16) Heiptertz, W., N.Fohler, E.Schmitt Stabilisierung der Wirbelsäule durch Spondylodese bei Tumoren. Z.Orthop. 112:851 (1974)

(17) Holdsworth, F.W. Fractures, Dislocations, and Fracture Dislocations of the Spine. J Bone Joint Surg. (Br.) 45:6-20 (1963)

(18) Idelberger, K. Lehrbuch der Orthopädie, 3.Aufl. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

(19) Junghanns, H. Die gesunde und die kranke Wirbelsäule in Röntgenbild und Klinik. Thieme-Verlag, Stuttgart (1968)

(20) Knight, G. Paraspinal Acrylic Inlays in the Treatment of Cervical and Lumbar Spondylosis and other Conditions. Lancet 2:147 (1959)

(21) Knight, G. Arylic Inlay for Instability of the Cervical Spine. J. Bone and Joint Surg. 49:384 (1967)

(22) Morris, J.M. Biomechanics of the Spine. Arch. Surg. 107:418-423 (1973)

(23) Muhr, G.,H.Tscherne, J.Blömer Resektion und anteriore Fusion bei Wirbelsäulentumoren. Z. Orthop. 116:531 (1978)

(24) Münchinger, R. Die auf die Wirbelsäule wirkenden mechanischen Kräfte. In: Belart, W. Rheumatismus in Forschung und Praxis, Bd.2, Huber, Bern (1964)

(25) Opfel, F., H.-D.Kunft Akutversorgung von Wirbelfrakturen durch laminierte Endoprothesen: Indikationen, Technik, bisherige Erfahrungen. Beiheft Z. Unfallheilkunde/Traumatologie 132:343 (1977)

(26) Panjabi, M.M., W.Hopper, A.A.White, K.J.Keggi Stabilization with Methylmethacrylate. Biomechanical Testing of a Surgical Specimen. Spine 2:241 (1977)

(27) Pfeiffer, R. Fusion der Wirbelsäule mit dem Autopolymerisat Palacos. Arch.Orthop. Unfall-Chir. 62:240 (1967)

(28) Rauber/Kopsch: Töndury, G. Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen, Bd.1, Thieme Verlag, Stuttgart (1968)

(29) Raycroft, J.F., R.P.Hockman, J.A.Albright, W.O. Southwick Surgery of Malignant Tumors of the Cervical Spine. J Bone and Joint Surg. 54:1794 (1972)

(30) Schürmann, K., H.J.Reulen, G.Busch Rekonstruktive und stabilisierende Maßnahmen bei Wirbelkörperverletzungen. Beiheft Z. Unfallheilkunde/ Traumatologie 132:336 (1977)

(31) Scoville, W.B., A.H.Palmer, K.Samra, C.Cuong The Use of Acrylic Plastic for Vertebral Replacement of Fixation in Metastatic Disease of the Spine. Intern.Symposium John Hopkins Hosp., Baltimore (1967)

(32) Sobotta-Becher Atlas der Anatomie des Menschen, Bd.1, 17.Aufl. Urban & Schwarzenberg, München, Berlin, Wien (1972)

(33) Töndury, G. Entwicklungsgeschichte und Fehlbildungen der Wirbelsäule. In: Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd.7, Hippokrates-Verlag, Stuttgart (1958)

(34) White, A.A., W.P.Southwick, M.M.Panjabi Clinical Instability in the Lower Cervical Spine. A Review of Past an Current Concepts. Spine 1:15 (1976)

(35) Wiltse, L.L., R.H.Hall, J.C.Stenehjem Experimental Studies Regarding the Possible Use of Self-Curing Acrylic in Orthopaedic Surgery. J Bone and Joint Surg. 39:961 (1957)

Lebenslauf

Am 14. März 1954 wurde ich als Sohn der Eheleute Alfred und Ilse Kresmann in Bottrop geboren. Dort besuchte ich von Ostern 1960 an die Grundschule, anschließend das Städtische Jungen-Gymnasium zu Bottrop bis zum Jahre 1967. Von 1967 bis 1973 besuchte ich das Städtische Stifts-Gymnasium zu Xanten, wo ich im Mai 1973 die Reifeprüfung ablegte. Im Wintersemester 1973/1974 studierte ich Geologie-Chemie an der Ruhr-Universität Bochum.

Nach einem zweijährigen Dienst bei der Bundeswehr und einer einjährigen Krankenpflege-Tätigkeit im Marien-Hospital Bottrop nahm ich im Sommersemester 1977 in Düsseldorf das Studium der Human-Medizin auf. Studienplangemäß absolvierte ich die Ärztliche Vorprüfung sowie den Ersten und Zweiten Teil der Ärztlichen Prüfung. Das Praktische Jahr mit den Fächern Innere Medizin, Chirurgie sowie dem Wahlfach Anaesthesie leiste ich zur Zeit im Akademischen Lehrkrankenhaus Duisurg-Nord ab. Im April 1983 beabsichtige ich, den letzten Teil der Ärztlichen Prüfung abzulegen.

Michael Kresmann

Lebenslauf

Personalia

Matthias Steffen Trinks, *21.März 1953 in Dresden/DDR
Eltern: Gerhard und Edith Trinks, Vermessungsingenieur/Hausfrau
Verheiratet mit der Sekretärin Waltraud Trinks

Schulausbildung

1959 - 1963 Evangelische Volksschule an der Tonstraße, Duisburg
1963 - 1971 Städtisches Neusprachliches Steinbart-Gymnasium in Duisburg, Abschluß Abitur
Ab Wintersemester 1973/74 Studium der Physik an der Universität Köln
Ab Wintersemester 1977/78 Studium der Humanmedizin an der Universität Düsseldorf
Physikum März 1979
Erstes Staatsexamen März 1980
Zweites Staatsexamen März 1982
Zur Zeit Student im Praktischen Jahr an den Evangelischen Krankenanstalten Duisburg-Nord, Lehrkrankenhaus der Universität Düsseldorf

Berufliche Tätigkeiten

1971 - 1978 Angestellter in der Chirurgischen Abteilung des St.Vincenz-Hospitals, Duisburg
1978 Abschluß an der Zentralschule für Fachschwestern und Fachpfleger für Anaesthesie und Intensivmedizin am Evangelischen Krankenhaus Bethesda, Duisburg
1978 - 1982 Teilzeit-Angestellter der Anaesthesiologischen Abteilung des Katholischen Krankenhauses Duisburg-Zentrum, Klinik Papendelle

Matthias Trinks

Wir danken Herrn Oberarzt Priv.Doz.
Dr.W.Winkelmann für die freundliche
Überlassung des Themas und für seine
zuvorkommende, schnelle und hilfreiche
Unterstützung, die die Entwicklung
der Arbeit ermöglicht hat.